

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö geoinformaatikas

Kes kellega käib ehk sotsiaalsete suhete dünaamika analüüs liikumisandmete põhjal

Marie Kristine Külvik

Juhendaja: PhD Anto Aasa

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2019

Sisukord

Annotatsioon.....	4
Abstract.....	4
Sissejuhatus.....	5
1. Teoreetilised lähtekohad.....	6
1.1 Sotsiaalsed interaktsioonid ja võrgustikud.....	6
1.1.1 Sotsiaalsed interaktsioonid.....	6
1.1.1 Sotsiaalvõrgustikud.....	7
1.2 Ruum ja sotsiaalsus	8
1.2.1 Aeg-ruumi kontseptsioon (<i>Space-time concept</i>).....	8
1.2.2 Tegevusruumi kontseptsioon	9
1.3 Sotsiaalse dünaamika kaardistamine.....	11
1.3.1 Liikumisandmete kogumise meetodid	11
1.3.2 Sotsiaalse positsioneerimise meetod:.....	13
2. Andmed ja metoodika.....	15
2.1 Mobiilpositsioneerimise andmed	15
2.2 Valim ja uuringuala.....	15
2.3 Metoodika.....	16
2.4 Dünaamilise interaktsiooni statistikud	17
2.4.1 Läheduskordaja (<i>Proximity rate, Prox</i>).....	18
2.4.2 Assotsiatsioonikoefitsient (<i>Coefficient of association, Ca</i>).....	18
2.4.3 Sotsiaalsuskoefitsient (<i>Coefficient of sociality, Cs</i>).....	18
2.4.4 Doncasteri mitteparameetriline test (<i>Doncaster's nonparametric test, Don</i>).....	19
2.4.5 Minta ruumilise ja ajalise interaktsiooni test (<i>Minta's test for spatial and temporal interaction, Lixn</i>).....	19
2.4.6 Pool-kaalu assotsiatsiooniindeks (<i>Half-weight association index, HAI</i>).....	19
2.4.7 Korrelatsiooniindeks (<i>Correlation index, Cr</i>).....	19
2.4.8 Dünaamilise interaktsiooni indeks (<i>Dynamic interaction index, DI</i>)	21
3. Tulemused ja arutelu	22
3.1 Andmeid tutvustav esmane statistiline analüüs.....	22
3.2 Dünaamilise interaktsiooni statistikud	29

3.3	Tulevikupotentsiaal ning võimalikud piirangud	33
4.	Kokkuvõte	35
	Analysis of dynamics of social relations with movement data.....	37
	Tänuavaldused	39
	Kasutatud kirjandus	40
	Veebiviited	44

Annotatsioon

Kes kellega käib ehk sotsiaalsete suhete dünaamika analüüs liikumisandmete põhjal

Töö eesmärk on välja selgitada, mis määral on aktiivse mobiilpositsioneerimise andmetest võimalik välja lugeda inimestevahelist teineteistmõjutavat liikumist, tuvastada inimeste koosviibimist ja muid lähestikku paiknemisega seotud parameetreid ning ka seda, millised meetodid selle leidmiseks sobivad. Esimese osa andmeanalüüsist moodustab andmeid kirjeldav, dünaamilise interaktsiooni analüüsiks vajalikke eelduseid kontrolliv statistiline analüüs. Teise osa andmeanalüüsist moodustab dünaamilise interaktsiooni analüüs, kus hinnatakse seni välja töötatud dünaamilise interaktsiooni meetodite sobivust inimeste interaktiivse liikumise kirjeldamiseks. Tulemustest selgus, et kasutatavate andmete põhjal on võimalik tuvastada mobiilikasutajate koosviibimine kindlaksmääratud vahemaade raadiuses ning leida koos viibimist kirjeldavaid parameetreid. Dünaamilise interaktsiooni statistikute sobivust on ilma kontrollvalimita raske lõplikult hinnata, aga analüüsil tuvastati mitmeid erinevaid piiranguid, näiteks inimeste liikumismustritele mittesobiva kodupiirkonna arvutamist, või arvuti võimetust mõne statistiku väärtuseid arvutada suure andmemahu tõttu.

Märksõnad: sotsiaalne interaktsioon, dünaamiline interaktsioon, mobiilpositsioneerimine

CERCS kood: P160 - Statistika, operatsioonanalüüs, programmeerimine, finants- ja kindlustusmatemaatika, S230 - Sotsiaalne geograafia

Abstract

Analysis of dynamics of social relations with movement data

The objective of this research was to find a methodology to analyse social and dynamic interactions and co-presence with mobile positioning data and to determine how suitable are the eight indices of dynamic interaction for analysing human movement data. For this research, active mobile positioning data of Tartu University Mobility lab research group was used. The first part of the data analysis consisted of descriptive statistics to explore the data and to determine the co-presence between people represented in the data set. Second part of data analysis consisted of calculating the eight indices of dynamic interaction and evaluating the suitability of their use in human positioning data. Used data was suitable for identifying co-presence and potentially a social relationship and presence of social network. It was not possible to confirm the suitability of the indices for dynamic interaction. Yet it was possible to determine the unsuitable parts in the calculation of the indices.

Keywords: social interaction, dynamic interaction, mobile positioning

CERCS code: P160 - Statistics, operation research, programming, actuarial mathematics, S230 - Social geography

Sissejuhatus

Ühiskonda defineerivad selle liikmed – inimesed ja neid ühendavad seosed. Seega, et mõista ühiskonda ja selles toimuvaid protsesse, muutuseid ja mustreid, on oluline mõista ka inimestevahelisi seoseid – suhteid ja interaktsioone. Sotsiaalse interaktsiooni defineerib Hinde (1976) kui olukorra, kus osalevad kaks või enam indiviidi, keda seob kindel käitumismuster. Loomaökoloogias on kasutusel ka termin „dünaamiline interaktsioon“, mida defineeritakse kui individidevahelist üksteist mõjutavat käitumist ja liikumist (Long & Nelson 2013), ning mis võib olla nii tõmbuv kui vältiv (Doncaster 1990). Sellega on loomaökoloogid andnud veel ühe potentsiaalse parameetri ühiskonna ja seda defineerivate suhete kirjeldamiseks. Dünaamilise käitumise analüüsiks on aga vaja ajalist ja ruumilist konteksti, mille annavad inimesed, kes jätavad oma tegevustes endast maha tohutul hulgal digitaalset infot. See aitab saada aimu erinevatest inimekäitumise mustritest, sealhulgas näiteks rahvastiku voolust linnas (Huang *et al.* 2018), perioodilistest liikumismustritest (Ahas *et al.* 2007a; Gonzalez *et al.* 2008) ja segregatsioonist (Silm *et al.* 2017).

Seni on sotsiaalseid interaktsioone, sotsiaälvõrgustiku struktuuri ning selle tekkeprotsesse uuritud erinevate sotsiaalset lähedust tuvastavate meetoditega: andmekogumisel on olnud kasutusel RFID märgid (Elmer *et al.* 2018), *Bluetooth* seadmed (Aharony *et al.* 2011; Boonstra *et al.* 2015; Eagle *et al.* 2009), *WiFi* signaal (Sapiezynski *et al.* 2017) ning ka pildi- ja videopõhised andmed (Haritaoglu *et al.* 2000; Starnini *et al.* 2017).

Käesolevas töös võetakse inimestevaheliste interaktsioonide, kokkupuudete ja koosviibimise tuvastamiseks kasutusele mobiilpositsioneerimise andmestik, mis lahendab suurema osa seni inimestevaheliste interaktsioonide analüüsil ette tulnud piirangutest. Andmestiku teeb väärtuslikuks täpne teave inimeste asukohast ja liikumistest, suur andmemahut ja -kvaliteet, võimalus rakendada meetodit pärisajas (Ahas, Mark 2005). Lisaks on andmestik kohe digitaalne ja jäävad ära andmekonverteerimisvead, andmed kogub kolmas osapool (võrguoperaator) ja jäävad ära vastaja või teaduri erapoolikus (Ahas *et al.* 2007a).

Kahe indiviidi vahelise seose tuvastamise analüüsimeetodikaid, mis tuginevad asukohaandmetele on seni arendatud pigem ökoloogias, metsloomade interaktsioonidele tuginedes (Long *et al.* 2014). Uurimustöös on meetoodilise töö aluseks dünaamilise interaktsiooni mõõtmise indeksid- nii punkti- kui teekonnapõhised statistikud, millega on võimalik analüüsida indiviidevahelist ühise ala kasutust (Kernohan *et al.* 2001; Millspaugh *et al.* 2004), tõmbuvat ja vältivat käitumist (Bertrand *et al.* 1996; Doncaster 1990) ning liikumise sidusust (Shirabe 2006).

Töö eesmärk on välja selgitada, kuidas on võimalik inimestevahelisi dünaamilisi interaktsioone, koosviibimist ja koos liikumist mobiilpositsioneerimise andmetega meetoodiliselt uurida ning millised väljatöötatud meetodid selleks kõige enam sobivad. Täpsemalt analüüsitakse Tartu Ülikooli mobiilsuslabori uurimisrühma aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, et leida kus, kui kaua, kui tihti uuritavad koos viibivad ning missugused statistikud ja parameetrite lävendid selle leidmiseks sobivad. Selgitatakse välja, kas antud andmetest on võimalik välja lugeda üksteist mõjutavat liikumist ja muid lähestikku paiknemisega seotud seaduspärasid.

1. Teoreetilised lähtekohad

1.1 Sotsiaalsed interaktsioonid ja võrgustikud

1.1.1 Sotsiaalsed interaktsioonid

Et hoomata suurt pilti, tuleb alustada detailidest. Seetõttu on ka ühiskonnas toimuva mõistmiseks vaja esmalt keskenduda inimestele ja sotsiaalsetele interaktsioonidele. Hinde (1976) defineerib interaktsiooni kui sündmust või erinevaid sündmuseid ühendava tunnuse, kus on seotud kaks või enam inimest, keda seob kindel käitumismuster. Interaktsioonide aluseks on inimeste liikumine ruumis, mis neid kokku toob (Kostakos *et al.* 2010). Interaktsioonid, inimesi ühendavad tunnused võivad vastavalt suhtele erineda (Hinde 1976). Ka ei ole sotsiaalsed suhted ja -võrgustikud püsivad, vastupidi, sotsiaalsete protsesside olulisim osa on suhete tekkimine ja kadumine (Rivera *et al.* 2010). Enamikke indiviide kirjeldab sotsiaalsetes interaktsioonides aga läbi aja samasuguseks jääv kindel ja iseloomulik muster, mis jääb samaks ka kontaktide isiku muutumise korral (Saramäki *et al.* 2014).

Interaktiivset, üksteist mõjutavat käitumist on seni uuritud ruumiandmete põhjal rohkem ökoloogias (Doncaster 1990; Kernohan *et al.* 2001; Long & Nelson 2013; Long *et al.* 2014; Macdonald *et al.* 1980; Millspaugh *et al.* 2004; Minta 1992; Shirabe 2006) ja seda saab jagada staatiliseks ja dünaamiliseks (Long *et al.* 2014; Macdonald *et al.* 1980). **Staatilist interaktsiooni** saab mõõta kahe indiviidi ühise ruumikasutuse põhjal ning sel puhul ajalist mõõdet ei rakendata (Kernohan *et al.* 2001). Enamasti kasutatakse seda lähenemist looduses toimuvate, loomade ja muude elusorganismide interaktsioonide uurimisel, kus on võimalik mõõta koduareaalide kattuvust (Millspaugh *et al.* 2004).

Ka **dünaamilist** kahe indiviidi (*dyadic*) interaktsiooni on seni analüüsitud põhiliselt loomariigis (Baker & Harris 2000; Bertrand *et al.* 1996; Doncaster 1990; Long & Nelson 2013). Dünaamilise interaktsiooni olemasolu viitab ka staatilise interaktsiooni olemasolule (Long *et al.* 2014). Dünaamilise interaktsiooni analüüsiga on võimalik mõõta samaaegset ühise ala kasutust (Minta 1992), tõmbuvat või vältivat käitumist (Doncaster 1990) või kahe indiviidi liikumise sidusust (Long & Nelson 2013, Shirabe 2006). Terminit võib omistada kõikidele kehadele, mis liiguvad ja mõjutavad selle käigus teise keha liikumist (Long, Nelson 2013).

Sotsiaalsete kontaktide olulisus

Sotsiaalsete suhete, sidemete ja nende dünaamika mõistmiseks on vaja eelnevalt aru saada nende kaalust ja taustast. Oluline on sotsiaalsete kontaktide mõju näiteks nii vaimsele kui füüsilisele tervisele (Berkman & Glass 2000; Christakis & Fowler 2009; Yang *et al.* 2016). Uuringutest on välja tulnud, et sotsiaalsed tegurid mõjutavad nii inimeste füüsilist aktiivsust kui motiveeritust (Aharony *et al.* 2011; Christakis & Fowler 2009), samuti nii tervist edendavaid kui kahjustavaid käitumismustreid nagu tubaka-, uimasti- ja alkoholitarbimist ning toitumis- ja seksuaalkäitumist (Berkman & Glass 2000; Christakis & Fowler 2013). Suhete iseloom erineb nii nende tüübi, sageduse, intensiivsuse kui ka toetuse määra poolest. (Berkman & Glass 2000). Lisaks käitumismustritele võivad sotsiaalsed interaktsioonid mõjutada kognitiivset ja emotsionaalset

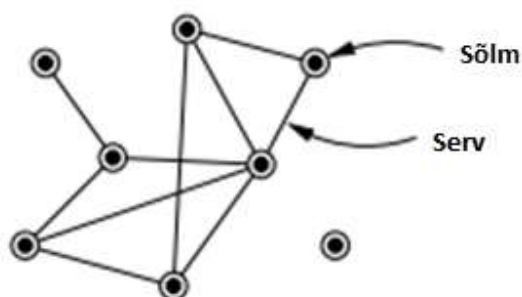
seisundit, sh enesehinnangut, sotsiaalset kompetentsi ja depressiooni (Berkman & Glass 2000; Christakis & Fowler 2009, 2013; Pachucki *et al.* 2015). Gordon Allporti (1954) kontaktihüpoteesi järgi on kontaktide omamine eelarvamuste vältimise strateegia oluline osa, sest interaktsioonid tekitavad ka võõraste vahel tuttavlikkust ja lähedust ja vähendavad seeläbi teadmatust ja ärevust võõra olukorra ees. Sotsiaalne integratsioon on omakorda seotud parema füüsilise seisundiga ja tugevama immuunsüsteemiga (Yang *et al.* 2016).

Samuti, kuna seaduspärad inimeste dünaamilises käitumises aitavad mõista selle mustreid ja mõjutavaid protsesse, on interaktsioonide uurimine oluline ka sotsiaalsõrgustike aluste mõistmisel (Eagle *et al.* 2009).

1.1.1 Sotsiaalsõrgustikud

Inimestevaheliste seoste uurimisele ja sotsiomeetria aluse Moreno (1934), kui võttis kasutusele sotsiogrammi – diagrammi, mille abil on võimalik visandada inimestevahelisi suhteid joonte ja punktidega. Pärast seda on aastate jooksul sotsiaalsete interaktsioonide analüüsivise metoooloogiaid täiustatud ja arendatud, kaasatud on näiteks maatriksalgebra ja graafiteooria (Newman 2003). See tegi võimalikuks sotsiaal-psühholoogiliste terminite ja teooriate sõnastamise, näiteks nagu seda on gruppide ja tutvusringkondade asetamine sõrgustiku konteksti. Samuti arenevate gruppide leidmine sõrgustiku andmetest (Scott 2000; Borgatti *et al.* 2009).

Sõrgustikku defineeritakse kui sõlmede ja neid ühendavate servade kogumit (Scott, 2000; Wasserman & Faust 1994). Sotsiaalsõrgustike korral tähistavad sõlmed indiviide ja servad nendevahelisi suhteid, interaktsioone (Boonstra *et al.* 2015). Sõrgustike (või graafide) alla loetakse Internetti, sotsiaalsõrgustikke, organisatsioonivõrgustikke, neuronvõrke, toitumisahelate sõrgustikku, jaotussõrgustike nagu veresooned või postiteekonnad, viitamiste sõrgustikke artiklite vahel ja palju muid analoogselt seotud grappe (Newman 2003; Scott 2000). **Sotsiaalsõrgustik** on omakorda inimeste või inimgruppide hulk, mida ühendavad kindlad kontaktid või interaktsioonid (Newman 2003). Näidisvõrgustik on toodud ära joonisel 1.



Joonis 1. Näidisvõrgustik kaheksa sõlmega. Allikas: Kohandatud Newman (2003) järgi

Seoste tüübid

Lihtsaim võrgustikutüüp on hulk sõlmesid (*vertex*), mida ühendavad omavahel servad (*edge*) (Newman 2003). Füüsikalises teaduses loetakse võrgustikuks erinevaid kaksikilminguid (*dyadic phenomena*), sotsiaalteadlased jagavad aga kaksikseoseid nii analüütiliselt kui teoreetiliselt (Borgatti *et al.* 2009). Borgatti *et al.* (2009) tutvustab tüpoloogiat, kus kaksiksuhted on jagatud nelja põhitüübi alusel: sarnasused (asukoht, liikmelisus, iseloomustav tunnus), sotsiaalsuhted (sugulus, mõni muu roll, tundedpõhisus, tunnetuslik), interaktsioonil põhinevad ja vood (info, usk, etc). Võrgustike funktsiooni mõistmiseks on oluline aru saada servade või seoste olemusest (Borgatti *et al.* 2009; Christakis & Fowler 2009). Käesolevas töös lähenetakse võrgustikule esmalt asukohapõhiselt – uuritakse interaktsioone, mis toimuvad jagatud aeg-ruumis. Andmeanalüüsi abil on võimalik edasi leida ka teisi seoseid.

Peale servasid/seoseid kirjeldavate tunnuste, võib servadel olla kaal, mis võib näiteks näidata seda, kui hästi inimesed üksteist tunnevad. Samuti võivad olla servad kindla suunaga, sh ühesuunalised. Näiteks graaf, millel on telefonikõne või e-mail, on ühesuunaline, sest iga sõnum läheb ainult ühes suunas (Newman 2003).

Indiviidi käitumist mõjutab ka suhtlusvõrgustike struktuur (Berkman & Glass 2000; Christakis & Fowler 2009; Freeman 1978). Olulisemate mõjuteguritena toob Freeman (1978) välja indiviidi asukoha või kesksuse suhtlusvõrgustikus.

Suhtlusvõrgustike olulisus

Suhtlusvõrgustike uurimisel on üks esmaseid eesmärke saada aru ümbritsevate võrgustike kui süsteemide iseloomust ja toimimisest (Christakis & Fowler 2009; Hall & Wellman 1985; Newman 2003). Võrgustiku liikmete tegelikke interaktsioone ja seoseid uurides on võimalik anda hinnang sellele, kas ja millistel alustel kogukond toimib (Berkman & Glass 2000). Sotsiaalsuhtlusvõrgustiku analüüsi abil saame vajalikku informatsiooni nii loomuliku kui väliselt mõjutatud käitumise ja otsuse tegemisega seotud sotsiaalmehhanismide kohta (Aharony *et al.* 2011; Christakis & Fowler 2009; Hall & Wellman 1985; Newman 2003).

1.2 Ruum ja sotsiaalsus

1.2.1 Aeg-ruumi kontseptsioon (*Space-time concept*)

Populatsioonide ja võrgustike struktuuri ja dünaamika kujundamisel ning ka üksikisikute saatuse kujundamisel mängib põhirolli inimese liikumine ajas ja ruumis (Cho *et al.* 2011; Hägerstrand 1970; Nathan *et al.* 2008). Kuigi inimeste liikumine ja liikumismustrid on vabad ja varieeruvad palju, on neil geograafilistest ja sotsiaalsetest mõjutajatest olenevalt sarnane struktuur (Cho *et al.* 2011). Sellele olukorrale andis seletuse Hägerstrand (1970) kes pani aluse aegruumi kontseptsioonile (*space-time concept*) ja sõnastas selle, et individid peavad oma tegudes lähtuma väga konkreetsetest ruumilistest ja ajalistest piirangutest. Nimelt esitab individ eelduslikult mitmeid erinevaid rolle, mõnikord mitut samal ajahetkel, sagedamini üht korraga, kuid antud rolle saab esitada ainult kindlas ajalises raamistikus, olles samaaegselt seotud teiste individide ja seadmetega (Hägerstrand 1970). Aegruumi teooria annab vajaliku tausta ja raamistiku

inimkäitumise modelleerimiseks, mis omakorda on vajalik sotsiaalsete dünaamiliste protsesside mõistmiseks ja mõjutamiseks (Ahas et al 2007a, 2007c; Berkman & Glass 2000; Eagle & Pentland 2009; Hägerstrand 1970; Nathan *et al.* 2008). Saadud teadmiseid inimeste dünaamilise käitumise seaduspärade osas saab kasutada epideemiate leviku mõistmisel ja vältimisel, päästetööde planeerimisel, linnaplaneerimisel, agendipõhisel modelleerimisel ja muudel inimeste dünaamikaga seotud aladel (Gonzalez *et al.* 2008).

Ajageograafia paradigmas tutvustab (Hägerstrand 1970) teooriat, et aegruumis kirjeldab indiviidi teekond (*path*), mis suuremas plaanis algab inimese sünniga ja lõpeb surmaga. Analoogselt on olemas muude ajaliste lähenemistega teekonnad, nt nädala-, või aastateekond. Teekonda ümbritseb piirangute (*constraints*) võrgustik. Piirangud sätestavad nii füüsilised kui füsioloogilised vajadused, mida seavad indiviididele nii nad ise kui ühiskond. Piiranguid on kolme tüüpi: suutlikkuse piirangud (*capability*) (tulenevad bioloogilisest ehitusest); ühendavad piirangud (*coupling*) (määrab kus, millal ja kui kaua peab indiviid väljundini jõudmiseks teistega koos viibima); ja võimupiirangud (*authority*)(*omandipõhine*). Kui anda piirangutele ruumiline ja ajaline mõõde ning piirkondlik ulatus, on võimalik neid konkreetsemalt analüüsida. Hägerstrand (1970).

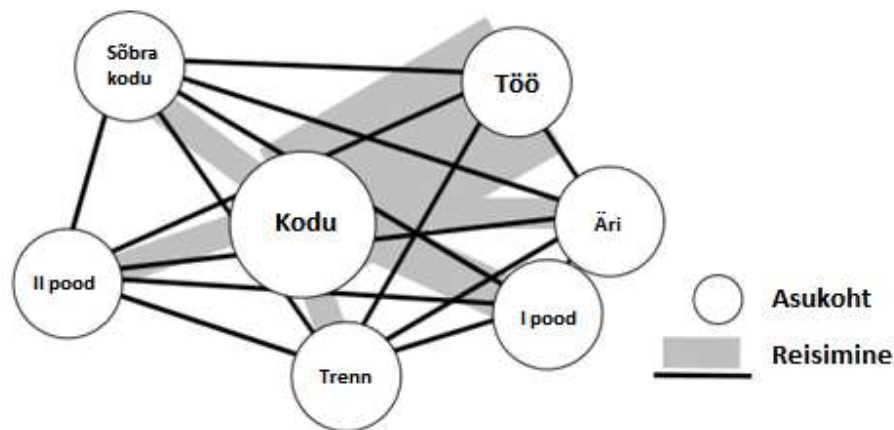
Erinevate indiviidide teekondade lõikumisel tekivad grupid (*bundles*), mille täpsemad tekkemehhanismid järgivad erinevaid printsiipe. Sagedasti on gruppide tekkimisel aluseks inimeste perioodilisus – järgitakse päevast päeva samu ajalisi rütme (Hägerstrand 1970), inimesed liiguvad edasi-tagasi oma kodu ja töökoha vahel (Eagle and Pentland 2009; Li *et al.* 2010). Uurimused on näidanud, et sarnasused kahe indiviidi liikumistes korreleeruvad tugevalt nende omavahelise lähedusega sotsiaalsüsteemis ja selliste korrelatsioonide abil on võimalik ennustada võrgustikus uute seoste tekkimist (Crandall *et al.* 2010; Eagle & Pentland 2009; Eagle *et al.* 2009; Wang et al 2011).

Eagle & Pentland (2009) arendasid aegruumi raamistikku edasi ja tutvustasid käitumise aluseks olevate korduvate struktuuride tuvastamiseks uut metodoloogiat. Antud struktuure nimetavad nad *eigenbehaviors*, indiviidi käitumise aluskomponentideks. Antud karakteristikuid iseloomustavad vektorid, mis laienevad üle kogu käitumisala (*behaviour space*) ja need kirjeldavad omakorda ajas muutuvat kommete varieeruvust. Indiviidi *eigenbehavioursi* lineaarse kombinatsiooni abil on võimalik andmestikust taastada tema käitumismuster iga päeva kohta. Esmaste *eigenbehavioursite* (käitumismustrid mida indiviid kõige enam rakendab) abil on võimalik õigesti ennustada indiviidi tulevikukäitumist. Peale üksikisikute käitumise on võimalik antud metoodikat laiendada sotsiaalsüsteemide tasemele.

1.2.2 Tegevusruumi kontseptsioon

Inimese ruumilise käitumise graafiliseks kirjeldamiseks on kasutusel tegevusruum (*activity space*) (Golledge, Stimson 1997; Newsome *et al.* 1998). Nagu aegruumiski, on indiviididel ka tegevusruumis reguleerivad piirangud, mis mõjutavad tegevusruumi geomeetriat, suurust ja struktuuri (Golledge & Stimson 1997; Newsome *et al.* 1998; Schönfelder & Axhausen 2003). Golledge & Stimson (1997) on neid sõnastanud kolm: esmalt kodu ja sellega seotud mõjutajad nagu asukoht, seal viibimise aeg, kodu ümbruses olevate oluliste kohtade struktuur; igapäevased

regulaarsed dünaamilised tegevused, st pendelränne tihedasti külastatavate kohtade nagu näiteks kodu, töö, kooli ja ostukohtade vahel; liikumine tegevuskohtades ja nende ümber. Schönfelder & Axhauseni (2003) järgi kohandatud lihtsustatud tegevusruumi struktuur on välja toodud joonisel 2.



Joonis 2. Lihtsustatud tegevusruumi esitus. Allikas: Kohandatud Schönfelder & Axhausen (2003) järgi.

Tegevusruumi üldisema struktuuri osas on selgunud, et see ei ole tänapäeval väga suur - igapäevaselt liiguvad inimesed lühikesi vahemaid, põhiliselt kodu ja töö/kooli vahel (Ahas *et al.* 2010; Gonzalez *et al.* 2008; Schönfelder & Axhausen 2003). Asukohti, kus inimene igapäevaselt kõige rohkem aega veedab, on Aasa *et al.* (2008) ning Ahas *et al.* (2010) defineerinud kui ankrupunkte ning neid on tavaliselt kaks – kodu ankrupunkt, kus viibitakse tavaliselt öösel ja päevased ankrupunktid, mis on seotud töö, kooli ja muude analoogsete kohustustega. Mobiilpositsioneerimisandmetega on võimalik leida nii põhiankrupunktid kui ka sekundaarsed punktid, kus inimesed viibivad tihti, näiteks ostlevad, veedavad vaba aega, külastavad sõpru etc. (Ahas *et al.* 2010).

Kui siduda indiviidi kohustuslikud kindla intervalliga toimuvad korduvad käigud spontaansemate käikude ja tegevustega, on võimalik genereerida tegevusruumi kirjeldav ellips (Newsome *et al.* 1998). Erinevate indiviidide tegevusruumi ellipsite analüüsimisel on võimalik leida tegevusruumide ülesed seosed ja paremini mõista ühiskonnas ja võrgustikes tekkivaid suhteid (Newsome *et al.* 1998). Kuna kirjeldatud ellipsid annavad ka ülevaate indiviidi aegruumilisest käitumisest, siis on nendes seotud nii tegevusruumi ja aegruumi teooria (Miller 1991).

Segregatsioon

Sotsiaalsed suhted on tänapäeval võrreldes asukoha ja vahemaaga hakanud tegevusruumi palju enam mõjutama (Silm & Ahas 2014). Võib öelda, et inimene loob mentaalse kaardi, kus on olemas isiklikust kogemusest (tegevusruum) saadud paigad ja teiste kogemuste läbi loodud asukohad (teadvusruum – *knowledge space*) (Goldenberg *et al.* 2001; Schönfelder & Axhausen 2003). Lisaks on Berkman & Glass (2000) toonud välja, et kui suhted on tugevad kogukonna tasandil, tunnevad individid ka tugevamat sidet erinevate kohtade ja organisatsioonidega. Suhete loomine on aga keeruline Allporti (1954) loodud kontaktihüpoteesi järgi, mis sõnastab selle, et inimesed

võõristavad tundmatust ja tunnevad erinevasse või võõrasse olukorda sattudes ebamugavust. Kuigi globaliseerumine on valdav suures osas maailmast, leiab ka Beck (2006), et paljud inividid vastandavad ennast sellele ja ei soovi luua suhteid inimestega, kes on neist erinevad. Segregatsioon on viimasel ajal järjest olulisem uurimisteema ja näiteks Silm & Ahas (2014) on seda elukohtadepõhiselt tegevusruumist lähtudes uurinud mobiilpositsioneerimise andmetega. Nende uurimusest tuleb välja, et ka etnilisusel on tegevusruumile suur mõju. Nimelt eelistavad inimesed elada ja veeta vaba aega sama keelt kõnelevate inimeste keskel. Lisaks võib tekitada kaitsereaktsiooni ja iseendassetõmbumist ruumiline vahemaa (Young 2011). Eagle & Pentland (2009) avastasid ka suhtlusvõrgustikupõhise homofiilia - nimelt moodustuvad sotsiaalvõrgustiku sees omaette kogukonnad, mis järgivad samu käitumismustreid. Valentine (2008) kinnitab seda uuringutulemusega, mille järgi ka suuremas institutsioonis, kus erinevate sotsiaalsete kogukondade vahelisi kontakte soositakse (näiteks kool), siis tulemus võib olla isegi pigem sotsiaalselt segregeeriv.

1.3 Sotsiaalse dünaamika kaardistamine

Inimelud kulgevad paljudes erinevates dimensioonides. Ainult ühe kanali jälgimine ükskõik kui pika ajaperioodi jooksul ei anna tegelikku arusaamist sotsiaalse süsteemi toimimisest (Hinde 1976). Kuigi indiviidi käitumise jälgimisel võib jääda mulje, et see on juhuslik, siis tegelikult on iga inimese elus korduvad ja hõlpsalt tuvastatavad käitumismustrid. Kui anda käitumisele ajaline, ruumiline ja sotsiaalne kontekst, muutuvad mustrid oluliselt selgemaks (Eagle & Pentland 2009). Korralik interdistsiplinaarne uuring vajab aga suuremahulist andmestikku ja laiemat lähenemist (Stopczynski *et al.* 2014). Geograafilise informatsiooni süsteemide (GIS) võimekus ruumilise andmestiku analüüsil ja modelleerimisel on siinkohal üks potentsiaalsetest lahendustest, mis annab aegruumilisele analüüsile laiemat kasutuspinda (Miller 1991). Suuremahulise andmestiku kogumiseks sobivad nutitelefonid, mida saab edukalt kasutatada näost-näku kohtumiste kaardistamiseks ja nende abil on võimalik koguda sotsiaalse dünaamika kohta väärtuslikku, erinevate kasuteguritega informatsiooni (Boonstra *et al.* 2015; Raento *et al.* 2009). Meetod on väärtuslik, sest sotsiaalseid ühikutes mõõdetavaid (*scalable*) andmeid on võimalik koguda inimeste ellu sekkumata (Boonstra *et al.* 2015). Mobiiltelefonidega kogutud andmestik annab võimaluse aru saada organisatsioonide, kogukondade, isegi ühiskondade dünaamikast (Eagle *et al.* 2009).

1.3.1 Liikumisandmete kogumise meetodid

Sotsiaalsete interaktsioonide ja -võrgustike ning rahvastiku mobiilsuse uurimisel ja kaardistamisel on kasutatud erinevaid nutitelefonide- ning raadiosidepõhiseid andmekogumisvõimalusi. Eelnevalt on kogutud nii mobiilpositsioneerimisandmeid (Ahas *et al.* 2007a, 2010; Cho *et al.* 2011; Gonzalez *et al.* 2008; Long *et al.* 2014; Silm & Ahas 2014; Silm *et al.* 2017; Toomet *et al.* 2015), analüüsitud Bluetoothi signaale - (Boonstra *et al.* 2015; Eagle *et al.* 2009), sotsiomeetriliste märkide signaale (ingl. k *RFID Badges*)(Cattuto *et al.* 2010) ja WiFi-signaale (Sapiezynski *et al.* 2017 ning pildi-, ja videopõhiseid andmeid (Starnini *et al.* 2017). Samuti on erinevad andmemodaalsuseid kombineeritud (Aharony *et al.* 2011; Cho *et al.* 2011).

Bluetooth: Sekara *et al.* (2016) töös lõimiti *Bluetooth*-andmed telefonikõnede ja – sõnumiandmetega, *online*-sotsiaalmeedia suhtlusandmete ja asukoha- ning demograafiliste andmetega paari kuu jooksul. Töös tõestati, et piisavalt kõrge täpsusega andmete korral on antud meetodiga võimalik tuvastada sotsiaälvõrgustikke igast indiviidist eraldi lähtuvalt ja ennustada nende kujunemist.

Kuigi meetodil on mitmeid tugevusi, nagu kõrge andmetihedus ja tõestatud suutlikkus tuvastada inimestevahelisi interaktsioone, jälgida suhtlusvõrgustikke ja leida signaali tugevuse põhjal seadmekandjate umbkaudne kaugus (Sekara *et al.* 2016), leidub *Bluetoothi* –seadmete kasutamisel ka nõrku kohti. Nimelt teeb *Bluetoothi* aktiveerimine telefoni haavatavamaks – seda on võimalik jälitada ja samuti on nii võimalik varastada telefonist kontakte või sõnumeid (Sapiezynski *et al.* 2017).

Sotsiomeetrilised märgid: Tegemist on aktiivse raadiosageduse identifitseerimise (*active Radio Frequency Identification* (RFID)) seadmete, nn märkidega, mis registreerivad näost-näku toimunud kontakti raadiolainete vahetamisel (Cattuto *et al.* 2010) ning mis on mitteinvasiivne meetod kindlaksmääratud ruumis lähedusandmete kogumiseks (Elmer *et al.* 2018).

Meetodi eelisteks on selle väiksem andmemahut ja invasiivsus võrreldes video-, ja kõnesalvestusmeetoditega (Elmer *et al.* 2018). Meetodi kitsaskohtadena võib välja tulla piiratud potentsiaalse uuringuala (Cattuto *et al.* 2010; Elmer *et al.* 2018) ning andurite mõõtetundlikkuse ja –piirangud (Elmer *et al.* 2018).

WiFi: Sapiezynski *et al.* (2017) töös uuriti WiFi kasutamise võimalusi sotsiaalsete interaktsioonide tuvastamisel ning valim koosnes umbes 1000 osalejast, kelle sotsiaalseid liikumisandmeid koguti paari aasta jooksul erinevates keskkondades. Uurimuses loodi mudel nutitelefonide ja WiFi ligipääsupunktide vahelisi signaalide võrdlemiseks, et tuvastada kahe indiviidi võimalikud kohtumised. Paraku on meetod kasutatav vaid paikades, kus on interaktsioonide tuvastamiseks piisav WiFi-võrgustik (Sapiezynski *et al.* 2017).

Kombineeritud meetod: Cho *et al.* (2011) kasutas enda töös inimeste liikumist ja dünaamikat käivitavate protsesside uurimiseks kombinatsiooni mobiilide asukohaandmetest ja kahe *online* asukohapõhise sotsiaälvõrgustiku andmetest. Uurimusest tuli välja, et inimeste igapäevane näiliselt juhuslik liikumine on vastastikuses mõjus nende *online* sotsiaälvõrgustikuga. Samuti saadi kinnitust Hägerstrandi (1970) teooriale, kuna selgus, et inimeste lühemad liikumised korduvad nii ajas kui ruumis. Tulemuste põhjal arendas töögrupp mudeli, mille abil on võimalik ennustada inimeste tulevase liikumisi.

Pildi- ja videopõhine meetod: Näost-näku kohtumisi ja lähedasi suhteid on tuvastatud ka pildi- ja videopõhiste süsteemidega (Haritaoglu *et al.* 2000; Starnini *et al.* 2017) ning nende andmestik on väga detailne, objektiivne ja suuremahuline. Paraku on viimatimainitu suureks murekohaks arvutuste juures, lisaks on andmeanalüüs keeruline, seadmed eeldavad otsenähtavust (*line-of-sight*) uuringualal ja andmekogumisel on väga karmid järelvalvenõuded, mistõttu on antud meetod veel vähe uuritud (Newman 2003; Starnini *et al.* 2017).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et eelnevalt loetletud sotsiaalse dünaamika kaardistamise meetoditel on mitmeid kasutegureid, aga ka mitmeid kitsendusi. Erineva raskusastmega piiranguid seavad nii sekkumisvajadus uuritavate ellu läbi intervjuude ja lisa-jälgimisseadmete kasutamise (Elmer *et al.* 2018; Boonstra *et al.* 2015, Eagle *et al.* 2010), uuringus kasutatavate seadmete kasutusest tulenevad piirangud, näiteks väljasaadetava signaali maksimaalne kaugus ja seadmete taristuga kaasnev, näiteks nende hind või hooldus (Boonstra *et al.* 2015; Cattuto *et al.* 2011; Elmer *et al.* 2018; Sapiezynski *et al.* 2017), suuremamahulisemate uuringute andmemüra (Aharony *et al.* 2011; Starnini *et al.* 2017), andmete kvaliteet ja valiidsus (Elmer *et al.* 2018), kui ka ranged andmekaitseenõuded (Elmer *et al.* 2018; Starnini *et al.* 2017).

1.3.2 Sotsiaalse positsioneerimise meetod:

Sotsiaalse positsioneerimise meetodi (SPM) puhul kogutakse lisaks digitaalselt salvestatud liikumisandmetele uuritava personaalseid andmeid (Ahas & Mark 2005). Sellisel moel on võimalik teada saada, kus ja kuhu inimesed liiguvad ning kes nad on. SPM analüüs eeldab mobiiltelefonide olemasolu kõrval ka SPM andmete kogumist ja sobiva metoodika välja töötamist (Ahas & Mark 2005). Uuringutest on selgunud, et isegi piiratud asukohatäpsuse juures, mida mobiilpositsioneerimisandmed meile hetkel võimaldavad, on andmestik siiski geograafilise analüüsi ja inimkäitumise uurimiseks sobiv (Ahas *et al.* 2007c).

Sotsiaalse positsioneerimise meetodi olulisus

Mobiiltelefonide ja seeläbi inimeste asukohta ja liikumiste jälgimine ja sellekohaste andmete kogumise täpsus areneb pidevalt ja kiiresti (Ahas *et al.* 2007c). Vähem oluline pole ka see, et populaarsust koguvad just nutitelefonid, millest jääb maha järjest täpsem ja parema kvaliteediga digitaalne jälg (Järv *et al.* 2012), mislääbi on võimalik ühiskonna aegruumilist liikumist järjest paremini mõista ja kirjeldada (Aharony *et al.* 2011; Ahas *et al.* 2007c). Kuna telefoni kantakse kaasas kogu päeva täpselt sama isiku poolt, on see indiviidide dünaamika jäädvustamiseks parim vahend (Gonzalez *et al.* 2008).

SPM andmestiku teeb väärtuslikuks täpne teave inimeste asukohast ja liikumistest, suur andmemaht ja –kvaliteet, võimalus rakendada meetodit pärisajas (Ahas & Mark 2005). Lisaks see, et andmestik on kohe digitaalne ja jäävad ära andmekonverteerimisvead, andmed kogub kolmas osapool (võrguoperaator) ja jäävad ära vastaja või teaduri erapoolikus; mobiiltelefonid on laialt kasutuses ja enamasti kantakse neid igal pool endaga kaasas (Ahas *et al.* 2007a).

Sotsiaalse positsioneerimise meetodi uurimisteemad

Mobiilpositsioneerimise analüüsimetodite väljaarendamisse on oluliselt panustanud Tartu Ülikooli geograafia osakonna Mobiilsusuuringute labor. Labori uurimisrühma poolt on alates 2005. aastast ilmunud mobiilpositsioneerimisalaseid uurimusi, mis puudutavad erinevaid inimdünaamika-alaseid teemasid nagu turistide valikud reisimisel (Ahas *et al.* 2007a), etniline segregatsioon tegevusruumis ja koosviibimisel (Silm & Ahas 2014; Silm *et al.* 2017; Toomet *et al.* 2015), liiklusvood (Järv *et al.* 2012), kõnepartnerite võrgustik ja mobiilsus (Puura *et al.* 2017) või põlvkondadevahelised erinevused ruumilisel mobiilsusel (Masso *et al.* 2019).

Tehtud uuringud on tavaliselt suuremahulised – keskmiselt aastase perioodi lõikes enamasti passiivse mobiilpositsioneerimisandmestiku põhjal analüüsitakse suurt osa rahvastikust, kas Eestiüleselt valitud huvigruppe (Ahas *et al.* 2007a; Puura *et al.* 2017; Silm & Ahas 2014), või keskendutakse kitsamalt mingile piirkonnale, näiteks Tallinnale (Järv *et al.* 2012; Silm *et al.* 2017; Toomet *et al.* 2015).

Sotsiaalse positsioneerimise meetodi kitsaskohad

Mobiilpositsioneerimise andmestik ja teave, mis hetkel olemas, näitab, et seda kogutakse väga erineva metoodika ja täpsusega (Adams *et al.* 2003; Ahas *et al.* 2007c; Ahonen & Eskelinen 2003). Mobiilpositsioneerimise täpsus sõltub rahvastikugeograafiast: mida suurem on rahvastikutihedus, seda tihedam on mobiiliivõrgutaristu (Ahas *et al.* 2007c). Oluline teema on ka andmetega seotud privaatsus (Ahas *et al.* 2007c; Kostakos *et al.* 2010), mistõttu on uuringutes võimalik kasutada vaid piiratud hulka mobiili kasutajat iseloomustavaid andmed (Ahas *et al.* 2010).

2. Andmed ja metoodika

2.1 Mobiilpositsioneerimise andmed

Kuna mobiiltelefonide kasutamine on maailmas väga levinud – 2019 aastaks ennustatakse nutitelefoni kasutajate arvu tõusvat kahe ja poole miljardini ja mobiiltelefonikasutajate arvu tõusvat viie miljardini (Statista 2019) - on ka sotsiaalse positsioneerimise meetodil (edaspidi SPM) kättesaadav andmebaas väga suure väärtusega.

Mobiilpositsioneerimise andmeid võib jagada passiivseks ja aktiivseks (Ahas et al 2006). **Passiivne** positsioneerimisandmestik salvestatakse automaatselt mobiilioperaatorite logifailidesse kui mobiiltelefoni ja mobiilivõrgu vahel luuakse ühendus. Tavaliselt toimub see telefonikõne ning sõnumite vahetamise korral (Ahas et al 2006).

Aktiivse positsioneerimise andmestikku kogutakse mobiili asukoha jälgimisega, saates raadiolainete abil päringuid (Ahas et al. 2007a). Aktiivse positsioneerimise puhul on võimalik päringute saatmise tihedust ise määrata.

Käesolevas uurimistöös on kasutatud aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, mis on kogutud kindla võrgukärje katvusala identifitseerimisnumbrist (*cell global identity*, CGI) lähtudes, mis on ühtlasi ka kõige tavalisem praktika (Ahas et al. 2007c). Kuna võrgukärjed võivad olla suured, hõlmates 0.002 kuni 100 km², on mobiili täpse asukoha määramine keeruline. Seepärast kasutatakse Eestis meetodit, kus esmalt määratakse mobiili asukoht CGI abil, seejärel täpsustatakse asukoht, mõõtes raadiolainete levimisele kulunud aeg (*timing advance*, TA). Positsioneerimise täpsus oleneb mobiili ja antenni omavahelisest kaugusest, see omakorda mobiili asukohast ja võrgutihedusest ja –koormusest (Ahas et al. 2007c). Antud töös on kasutatud mobiiltelefone Telia võrgus, mille 2G leviala katab ligikaudu 99,9 protsenti (Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet 2019) ja 4G leviala rohkem kui 97 protsenti kogu Eesti territooriumist (Telia 2019).

Mobiilimastide paiknemisest tulenevalt on positsioneerimise täpsus linna- ja maapiirkondades erinev: Eestis on tiheasustatud aladel või tihedama teedevõrguga aladel võrgukärje suurus 0.4 km² kuni 1 km² ja positsioneerimise täpsus 50-400m, hajaasustusega aladel on võrgukärje keskmine suurus 49 km² ja positsioneerimise täpsus 300 kuni 2500m (Ahas et al. 2007c), kuid mobiilimastide arv suureneb pidevalt, mis töötab ka järjest täpsemaid mobiilpositsioneerimisandmeid.

2.2 Valim ja uuringuala

Käesoleva töö raames on kasutatud Tartu Ülikooli geograafia osakonna Mobiilsusuuringute labori töörühma aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid. Aktiivse mobiilpositsioneerimise andmete ajalist resolutsiooni on kogumisel võimalik uurijatel ise määrata erinevalt passiivsest mobiilpositsioneerimisest. Töös on andmete ajaline resolutsioon 15 minutit, mis on analoogne metoodikaga tööde puhul (küll siiski loomaökoloogias, loomade interaktsiooni analüüsil) olnud sarnane (Long et al. 2014). Valimisse olid kogutud aktiivse mobiilpositsioneerimise andmed viielt

töörühma liikmelt, kes on andmetes esindatud juhusliku, arvutiga genereeritud mobiilikasutaja ID koodiga. Andmetes on lisaks olemas seadmekasutajatega seostatavad positsioneeritud ristkoordinaadid (kärjevõrgu täpsusega), positsioneerimise täpne aeg (aasta, kuu, tund, minut) ning positsioneerimise ID. Andmed olid kogutud 2015 aasta jooksul, täpsemalt vahemikus 01.01.2015-31.12.2015. Asukohaandmeid koguti kogu Eesti territooriumil, liikumisandmeid välismaalt ei kogutud. Andmed on kogutud Telia võrgus, mis katab umbes 99% kogu Eesti mobiilivõrgust (Tehnilise Järelevalve Amet 2019). Kokku oli andmebaasis 137 280 asukohakirjet.

2.3 Metoodika

Töö eesmärk on välja selgitada, kuidas on võimalik sotsiaalseid dünaamilisi interaktsioone, koosviibimist ja koos liikumist mobiilpositsioneerimise andmetega metoodiliselt uurida ning millised väljatöötatud meetodid selleks kõige enam sobivad. Täpsemalt analüüsitakse Tartu Ülikooli mobiilsuslabori uurimisrühma aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, et leida kus, kui kaua, kui tihti uuritavad koos viibivad ning missugused statistikud ja parameetrite lävendid selle leidmiseks sobivad. Selgitatakse välja, kas antud andmetest on võimalik välja lugeda üksteist mõjutavat liikumist ja muid lähestikku paiknemisega seotud seaduspärasid.

Töös on kasutusel andmestik, mille positsioneerimiste resolutsioon on 15 min, ning tuginedes eelnevatele uuringutele (Eagle *et al.* 2009; Long *et al.* 2014), võetakse ajakünniseks pool valimi resolutsioonist, mis on 7,5 minutit.

Andmetest esmase ülevaate saamiseks viiakse asukohapunktid kaardile ja leitakse teatav seaduspära – enim asukohapunkte asub Tartus ja 5 km kaugusel sellest (137 280st asukohapunktist 113 442). Seetõttu määratakse analüüsi piirkonnaks Tartu linn seda ümbritseva 5 km puhvriga, sest linnas kui tiheasustuselal kogutud andmetele on võimalik paremast mobiilpositsioneerimistäpsusest lähtuvalt rakendada analüüsis täpsemaid vahemaa künniseid.

Eelnevates inimeste sotsiaalseid suhteid kaardistavates töödes on sotsiaalse kontakti määrav vahemaa künnis sõltunud töös kasutatavast tehnoloogiast. Näiteks Cattuto *et al.* (2010) töös näost-näkkude kohtumise toimumist määrav vahemaa, mida sotsiomeetriline märk luges, oli 1-4 m. Bluetooth seadmed peavad samuti olema üksteise suhtes lähestikku – vahemaa varieerub 0.1-10m vahel, et kontakt registreerida (Elmer *et al.* 2018). See kehtis ka Boonstra *et al.* (2015) ja Eagle *et al.* (2009) uuringus, kus vahemaa künnis oli 5-10 m, et mobiilid teineteist ära logiksid. Käesolevas töös seab piirangu aga andmete kogumisel võrgukärje suurus. Eestis on võrgukärje suurus tiheasustatud aladel või tihedama teedevõrguga aladel 0.4 km² kuni 1 km² ja positsioneerimise täpsus 50-400 m. Hajaasustusega aladel on võrgukärje keskmine suurus 49 km² ja positsioneerimise täpsus 300 kuni 2500m (Ahas *et al.* 2007c).

Kuna analüüsi piirkonnaks on Tartu linn, mis on tiheasustusala, määratakse väikseim vahemaa künnis maksimaalse positsioneerimise täpsuse järgi, milleks on 50m. Kuna künniste omavaheline võrdlus võib aidata aru saada, mis suurusjärgus sündmused, siin inimestevahelised kontaktid ja interaktsioonid toimuvad (Long *et al.* 2014), lisatakse vahemaa künnistena ka 100 ja 300m.

Statistikute analüüsil kasutatakse põhiliselt tarkvara R paketti „wildlifeDI“ (Long 2019).

2.4 Dünaamilise interaktsiooni statistikud

Analüüsi metoodilise lähenemise aluseks võetakse dünaamiline interaktsioon, mis osutab siin töös kahe inimese liikumise aeg-ruumilistele seostele (Long *et al.* 2014). Dünaamilise interaktsiooni analüüsiga mõõdetakse töös tõmbuvat või vältivat käitumist, milleks sobib punktipõhine lähenemine (Macdonald *et al.* 1980; Doncaster 1990) ja kahe indiviidi liikumise seotust, kus on vajalik teekonnapõhine lähenemine (Long & Nelson 2013, Shirabe 2006) ning samaaegset ühise ala kasutust (Minta 1992).

Hetkel on dünaamilise interaktsiooni analüüsiks töötatud välja kaheksa erinevat meetodit (Long *et al.* 2014), mille objektiivsust on ka hinnatud. Long *et al.* (2014) statistikute tulemuslikkuse analüüsis analüüsiti kõigi kaheksa statistiku nõrkusi ja tugevusi dünaamilise interaktsiooni analüüsil. Töös võrreldi nii empiirilist kui simuleeritud andmestikku, hinnati 1000 simulatiooni tulemuste keskvaartust ja standardhälvet. Tulemuste abil uuriti valimi resolutsiooni mõju kõikide statistikute väärtustele.

Meetodite erinevused tulenevad arvutusvalemite eripäradest, näitajate erinevast tõlgendamisvõimalusest ning ka punkti ja teekonnapõhisest lähenemisest (Long *et al.* 2014). Punktipõhised lähenemised esitavad andmeid punktidenä, teekonnapõhised ühendatud lõikudena (Long *et al.* 2014).

Järgnevalt on välja toodud statistikud, mille põhjal käesolevas uurimistöös lähedust analüüsitakse. Statistikute valemitest aitab aru saada Tabel 1., kuhu on kogutud vastav terminoloogia.

Tabel 1. Dünaamilise interaktsiooni meetodite kirjeldamise terminoloogia. Allikas: Long *et al.* (2014).

Termin	Seletus
α või β	indiviidid, kes moodustavad paari (positsioneeritud)
kohtumine	positsioneeringu kirje (ruumiline asukoht ja ajatempel)
t_c	ajakünnis
d_c	vahemaa künnis
$T_{\alpha\beta}$	üheaegsed positsioneerimised, mis lähtuvad t_c -st
$S_{\alpha\beta}$	lähestikku positsioneerimised, mis lähtuvad d_c -st
$ST_{\alpha\beta}$	üheaegsed ja lähestikku positsioneerimised, mis lähtuvad d_c -st ja t_c -st
v_t, w_t	liikumise lõik, kahte järjestikust positsioneerikut ühendav vektor
v, w	keskmise liikumise lõik kogu teekonna kohta

2.4.1 Läheduskordaja (*Proximity rate, Prox*)

$$\text{Prox} = \frac{ST_{\alpha\beta}}{T_{\alpha\beta}}$$

Läheduskordaja abil on võimalik mõõta kahe indiviidi tõmbumist, tuginedes sellele, kui tihti on kaks uuritavat üksteise läheduses. Proxi abil mõõdetakse üheaegsete ($T_{\alpha\beta}$ – põhineb ajalisel künnisel t_c) ruumiliselt lähestikku ($ST_{\alpha\beta}$ – põhineb ruumilisel künnisel d_c) toimuvate positsioneerimiste osakaalu. Läheduskordaja kasutamise eelis on see, et see on lihtsasti tõlgendatav ja annab ülevaate ajast, mil uuritavad on samaaegselt lähestikku (Long *et al.* 2014). Long *et al.* 2014. aastal läbiviidud kaheksat erineva dünaamilise interaktsiooni analüüsi tõhusust võrdlev uurimus tõi välja, et läheduskordaja väärtused erinevates uuritud juhtumites andsid korrektseid tulemusi ja olid praktiliselt identsed kahe teise statistiku – assotsiatsioonikordaja (Ca) ja pool-kaalu assotsiatsiooniindeksiga (*half-weight association index*, HAI). HAI-statistikut arvutatakse Ca-ga identselt, kuid esimene keskendub kitsamalt ainult nendele interaktsioonidele, mis toimuvad jagatud alal. Ca ja Prox on omakorda sarnase ülesehitusega ja mõõdavad sama nähtust, ainult Prox on arvutuslikult lihtsama ülesehitusega. Läheduskordajat on individidevahelise tõmbumise indikaatorina kasutanud näiteks Bertrand *et al.* (1996). Samuti on Prox sobiv kokkupuute määra näitaja, mida on Baker & Harris (2000) kasutanud haiguste leviku dünaamika uurimisel.

2.4.2 Assotsiatsioonikoeffitsient (*Coefficient of association, Ca*)

$$Ca = \frac{2ST_{\alpha\beta}}{n_{\alpha} + n_{\beta}}$$

Assotsiatsioonikoeffitsienti (Ca) kasutas esmalt Cole (1949) liikidevaheliste läbikäimiste mõõtmisel. Assotsiatsioonikoeffitsiendi valemis on n_{α} (vastavalt n_{β}) kõikide positsioneerimiste kogusumma α (vastavalt β) korral. Ca sarnaneb Proxile, ainult et Ca mõõdab kõikide positsioneerimiste määra, mis on vastavad näitajale $ST_{\alpha\beta}$ (ruumiliselt lähestikku ja samaaegsed ning sõltuvad ajakünnisest (t_c) ja vahemaa künnisest (d_c), mitte ainult samaaegsetest positsioneerimistest. Mõõdab sama ilmingut, mida Prox. Kui $Ca > 0.5$, näitab see tõmbumist, kui $Ca < 0.5$, näitab see, et läbikäimine puudub. Sarnaselt Proxile võib ka see koeffitsient olla subjektiivne, oleneb millel d_c põhineb. Long *et al.* (2014) analüüsi põhjal näitab statistika korrektselt dünaamilise koosviibimise olemasolu ja on prox-ga identne. Valimi resolutsiooni muutmisele reageerib vähe ning defineeris korrektselt koosviibimise puudumise.

2.4.3 Sotsiaalsuskoeffitsient (*Coefficient of sociality, Cs*)

$$Cs = \frac{d_E - d_O}{d_E + d_O}$$

Kenward *et al.* (1993) tutvustasid alternatiivina tõmbuva käitumise mõõtmiseks sotsiaalsuskoeffitsienti, mis on teisend Jacobsi indeksist, ning see oli algselt mõeldud metsloomade toiduvaliku mõõtmiseks. Kasutatakse positsioneerimiste vaheliste vahemaade toorandmeid, mitte uurija defineeritud määra. d_O on $T_{\alpha\beta}$ -i (ajaliselt samaaegsed positsioneerimised, sõltuvad t_c -st) positsioneerimiste vahemaa keskvärtus. d_E on eeldatav vahemaa keskvärtus, sõltub n^2 permutatsioonist $T_{\alpha\beta}$ koordinaatide puhul. Tulemused on sümmeetrilised ($[-1,1]$), positiivsed väärtused näitavad tõmbumist, negatiivsed vältimist. Statistiku miinus on eeldatava vahemaa keskvärtuse leidmine, tavaliselt kasutatakse d_E leidmiseks n^2 permutatsiooni vahemaade jaotust kõikide $T_{\alpha\beta}$ kohtumiste lõikes. Teine võimalus on

d_E leida simulatsioonide abil, näiteks korreleeruvaid juhuslikke käike kasutades. Long *et al.* (2014) analüüsi põhjal suudab ära identifitseerida kõik koosviibimised, kuid indeksit iseloomustab väga kõrge tüüp I viga (palju valepositiivseid tulemusi), seejuures tugevam viga kui Don-ga. Koosviibimise puudumisel annab samuti tüüp I vea.

2.4.4 Doncasteri mitteparameetiline test (*Doncaster's nonparametric test, Don*)

Doncaster (1990) tutvustas testi koosviibimise mõõtmiseks. T_{ab} positsioneerimiste vahemaade kumulatiivset jaotust saab graafiliselt võrrelda n^2-n permuteeritud vahemaade kumulatiivse jaotusega. Doncasteri meetod võrdleb samaaegsete allapoole d_c määra jäävate positsioneerimiste hulka nendega, mida võib eeldada kõikide positsioneerimiste vaheliste vahemaade jaotust arvesse võttes. Näiteks on testi abil võimalik määrata sobivat vahemaa määra (d_c) pannes eelnevalt paika, kus T_{ab} diagramm ületab eeldatavat permutatsioonidel põhinevat joont. Long *et al.* (2014) hindasid testi sobivaks koosviibimise ära tundmisel, kuid ka sellel indeksil oli kõrge tüüp I viga (annab valepositiivseid tulemusi).

2.4.5 Minta ruumilise ja ajalise interaktsiooni test (*Minta's test for spatial and temporal interaction, Lixn*)

Statistiku Lixn (Minta 1992) puhul on vaja välja arvutada indiviidide kodupiirkond, mis jagatakse kolme piirkonda: piirkonnad, kus viibivad ainult kas α või β ja piirkond, kus α ja β ühiselt viibivad (kattuv piirkond). Igas piirkonnas salvestatud koordinaate võrreldakse tõenäosusega leida sellest alast indiviide. Tõenäosuse tugevust saab tuletada võttes arvesse kas kõikide positsioneerimiste osakaalu igas erinevas piirkonnas või ülekatte piirkonna protsente. Üldiselt mõõdab Lixn ühisel alal samaaegset viibimist. Positiivsed Lixn tulemused näitavad ala ühist kasutamist, negatiivsed väärtused ala üksikkasutamist. Võrreldud statistikute andis Lixn kõige kallutatumaid tulemusi, esinesid nii tugevad tüüp I ja II vead – valepositiivsed tulemused ja samuti ei suutnud Long *et al.* (2014) statistikute võrdluses see statistik identifitseerida päriselt toimunud koosviibimisi.

2.4.6 Pool-kaalu assotsiatsiooniindeks (*Half-weight association index, HAI*)

Tutvustas Brotherton *et al.* (1997) kui Lixni testi kaastesti. Sarnaselt Lixn-iga toetub kahe indiviidi kodupiirkondade kattuva ala analüüsimisele. HAI on rohkem lokaliseeritud lähenemine, keskendub ainult positsioneerimistele kattavas piirkonnas. Test näitab korrektselt dünaamilise koosviibimise olemasolu. Valimi resolutsiooni muutmisele reageerib vähe ning on defineerinud korrektselt koosviibimise puudumise (Long *et al.* 2014).

2.4.7 Korrelatsiooniindeks (*Correlation index, Cr*)

Liikumisandmete analüüsiks sobivat teekonnapõhist dünaamilise koosviibimise indeksit tutvustas esmakordselt Shirabe (2006). Teekonnapõhised dünaamilise interaktsiooni meetodid analüüsivad liikumissegmentide sidusust. Cr puhul ühendatakse järjestikuste kohtumiste koordinaadid vektoritega vastavalt ajalisele järjestusele.

$$Cr = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (v_t - \bar{v}) \cdot (w_t - \bar{w})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} |v_t - \bar{v}|^2} \sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} |w_t - \bar{w}|^2}}$$

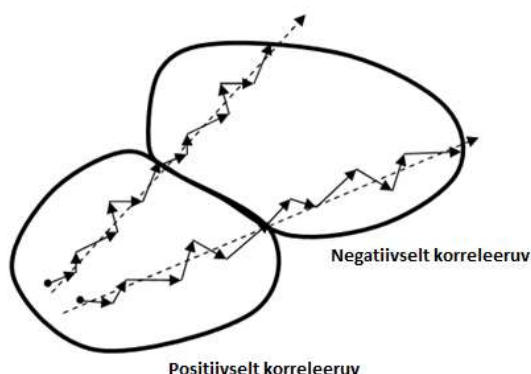
Andmestikust korrelatsioonide leidmiseks mõõdab Cr vastavate vektorite erinevusi võrreldes kogu teekonna keskväärtustega (*overall path means*). Statistik on sisuliselt Pearsoni mitme muutujaga korrelatsioonikoefitsient (*Pearson product-moment correlation statistic for multivariate data*), siin kahedimensioonilise muutujaga, X ja Y, andmestiku jaoks, mida on kohandatud liikumisandmetele (Long *et al.* 2014). Cr eelis teise teekonnapõhise statistiku DI ees seisneb selle väärtuste järjepidevuses erinevate valimiintervallide juures, samal ajal kui DI väärtused muutusid kõrgema resolutsiooniga valimi puhul nõrgemaks. Cr põhiline piirang on, et see sõltub keskmise teekonna vektoriga seotud korrelatsioonide mõõtmisest, mis ei ole tavaliselt dünaamilise interaktsiooni analüüsi kontekstis oluline (Long *et al.* 2014).

Kui kaks muutujat (*variables*) on üksteisest sõltuvad, on korrelatsioonikordaja nullist erinev. Antud kordaja puudus on, et see mõõdab lineaarse sidususe (*dependence*) tugevust (joonis 3), kuid kui liikumismuster koosneb omakorda võrdselt vastandlikest mustritest, nullivad need korrelatsiooni ja võib jääda mulje, et liikumised ei ole seotud (joonis 4).

Antud koefitsiendi eeliseks on, et see ei ole liiga tundlik juhuslikele hälvetele, sest arvesse võetakse kõiki iga üksiku objektiga seotud vaatlusandmeid. Samuti aitab see tuua tähelepanu olulistele sidemetele, mis ei pruugi väiksemal skaalal märgatavad olla. See tähendab aga, et lühiajalisi paikseid liikumismustreid meetod ei pruugi tuvastada (Long *et al.* 2014).



Joonis 3. Positiivselt (a) ja negatiivselt (b) korreleeruvad liikumised. Allikas: Shirabe (2006)



Joonis 4. Seotud, aga kahest erinevast (teineteist nullivast) korrelatsioonist koosnev liikumismuster. Allikas: Shirabe (2006)

2.4.8 Dünaamilise interaktsiooni indeks (*Dynamic interaction index, DI*)

$$di = \left(1 - \frac{|d_t^\alpha - d_t^\beta|}{d_t^\alpha + d_t^\beta} \right) \times \cos(\theta_t^\alpha - \theta_t^\beta),$$

whereas DI is calculated by

$$DI = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} di$$

Indeks DI sarnaneb Shirabe (2006) korrelatsiooniindeksile, nimelt mõõdab vastavuses olevate liikumisvektorite sidusust (Long & Nelson 2013). Seega on oluline, et kahe indiviidi liikumisandmed oleksid samaaegselt salvestatud. DI meetodit saab jagada erinevateks komponentideks, mis mõõdavad dünaamilist interaktsiooni vastavalt liikumissuuna (DI_θ) ja liikumisteedkonna (DI_d) põhised. Laube & Purves (2007) määrasid DI neli erinevat analüüsitaset – kohalik, intervall, episoodiline ja globaalne. Long *et al.* (2014) analüüsist selgus, et valimi resolutsiooni muutmisele reageerib see test tundlikult, samas on seda ka lihtsam interpreteerida, sest väljundi väärtuste variatsioon on suhteliselt madal ja määrab nii koosviibimisi kui selle puudumist korrektselt. Samuti defineeris indeks korrektselt koosviibimise puudumise.

3. Tulemused ja arutelu

Töö eesmärk on välja selgitada, kuidas on võimalik sotsiaalseid dünaamilisi interaktsioone, koosviibimist ja koos liikumist mobiilpositsioneerimise andmetega metoodiliselt uurida ning millised väljatöötatud meetodid selleks kõige enam sobivad. Täpsemalt analüüsitakse Tartu Ülikooli mobiilsuslabori uurimisrühma aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, et leida kus, kui kaua, kui tihti uuritavad koos viibivad ning missugused statistikud ja parameetrite lävendid selle leidmiseks sobivad. Selgitatakse välja, kas antud andmetest on võimalik välja lugeda üksteist mõjutavat liikumist ja muid lähestikku paiknemisega seotud seaduspärasid.

Esimese osa andmeanalüüsist moodustab andmetega tutvumine, veendumine, et on täidetud eeldusnõuded dünaamilise interaktsiooni analüüsiks ning ka esmane statistiline analüüs koospaiknemise kirjeldamiseks.

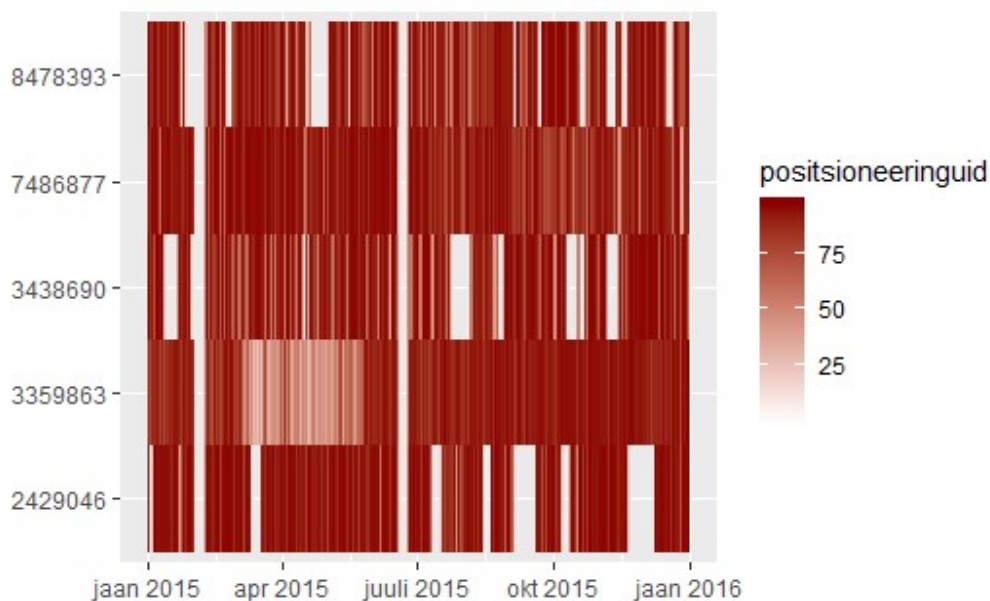
Teise osa andmeanalüüsist moodustab dünaamilise interaktsiooni analüüs, kus hinnatakse nii seni välja töötatud dünaamilise interaktsiooni meetodite sobivust inimeste liikumisandmete jaoks kui viiakse läbi statistiline analüüs koos liikumise kirjeldamiseks.

3.1 Andmeid tutvustav esmane statistiline analüüs

Esmane statistiline analüüs rakendati kogu valimile, uurimisrühma viie liikme (edaspidi ka valimi suurus - n) aktiivse mobiilpositsioneerimise andmetele, et leida kus, kui pikalt, kui tihti uuritavad koos viibivad, missugused statistikud ja parameetrite lävendid selle leidmiseks sobivad ning mis seaduspärasid võib analüüsist tuvastada.

Kõige olulisem eeldus dünaamilise interaktsiooni statistikute arvutamisel on, et uuritavaid oleks positsioneeritud samaaegselt ja et nad asuksid ruumiliselt lähestikku. Selles, et valimi liikmete asukohad ruumis on piisavalt lähestikku, veenduti, kui andmetest esmase ülevaate saamiseks viidi asukohapunktid kaardile ja leiti ka eeldatav seaduspära – valimi liikmete asukohapunktid olid Eesti piires väga lähestikku ja koondusid Tartusse.

Järgmisena oli vajalik teha kindlaks, kas kehtib ka teine liikumisandmete analüüsi eeldus – samaaegsete positsioneerimishetkede olemasolu. Et saada esmane visuaalne ülevaade sellest, kas mobiilikasutajate positsioneerimishetkede aegread kattuvad, et seadmetel oleks neid ajaliselt samas punktis võimalik positsioneerida, loodi aegride kattuvuse histogramm (joonis 5). Graafikult saab kinnituse, et suures osas on valimi aegread kattuvad. On märgata ka andmeauke, kus positsioneerimisandmed puuduvad, kuid samaaegsete positsioneerimishetkede olemasolul see edasist liikumisandmete analüüsi ei välista.



Joonis 5. Valimi (n=5) positsioneeride aegriidide kattuvus terve aasta lõikes

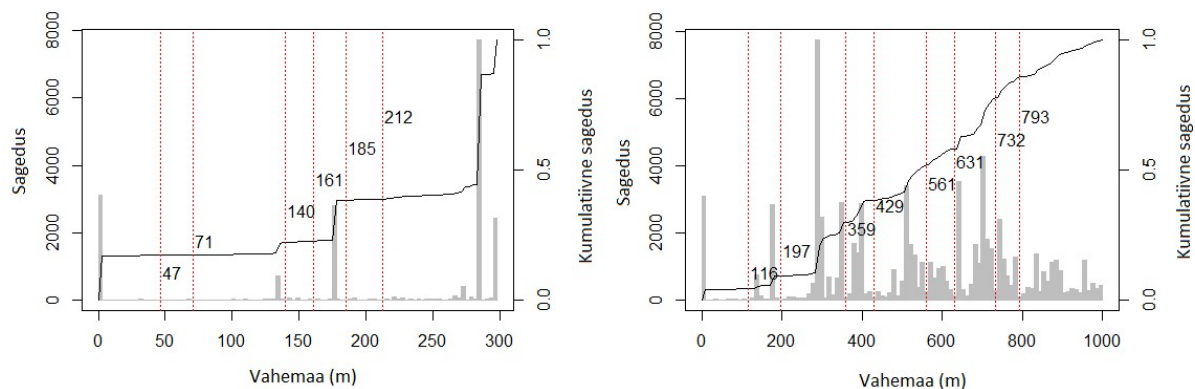
Dünaamilise interaktsiooni analüüsis on vajalikud erinevad liikumisandmeid iseloomustavad parameetrid, neist kaks – vahemaa parameetri künnise (dc) ja ajalise parameetri (tc) künnise peab defineerima uurija lähtudes analüüsis kasutatavatest andmetest. Ajalise parameetri künnis (tc) sõltus andmete ajalisest resolutsioonist ning selle väärtus jäi uurimuses $tc=15\text{min}$. Kuna analoogsed uurimused inimestest koosneva valimiga puuduvad, jäi esmalt üks ja kindel vahemaa parameetri künnis määramata ja analüüsiti andmed läbi mitme erineva künnisega. Esmalt sai lävendideks määratud 50, 100 ja 300 m, sest väiksema lävendi kui 50m puhul on piiranguks mobiilpositsioneerimise täpsus ja suurema vahemaa kui 300m puhul on eeldatavalt inimestevahelise näost-näku kohtumise ja üksteist mõjutava liikumise toimumise tõenäosus väike. Erinevate künnistega läbi viidud liikumisandmete analüüs annab andmete kasutamise võimalustest ja piirangutest täpsema ülevaate ja see on analoogsetes uurimustes soovitatud teguviis (Laube & Purves 2011, Long *et al.* 2014).

Andmestikust ülevaatlukuma pildi saamiseks analüüsitakse tegureid ka kolmel erineval ajaskaalal – aasta, ühe nädala ja ühe päeva lõikes. Sagedusdiagrammide arvutamiseks kasutati paketi „WildlifeDI“ (Long 2019) funktsiooni dcPlot.

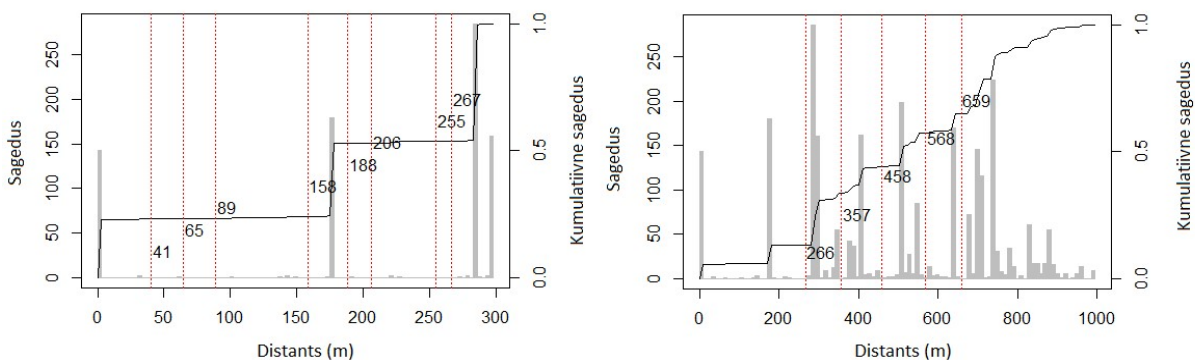
Uuritakse ka, millised on paaridevahelised vahemaad koguvalimis aasta (joonis 6), nädala (joonis 7) ja päeva (joonis 8) lõikes. Sagedusdiagrammidelt ilmneb, et nii aasta-, nädala-, kui kuu lõikes on 300 meetri raadiuses suuremaid kasutajatevahelisi vahemaid registreeritud kolme suurema sammuna - vahetus läheduses 0 kuni 10m, 160m läheduses ja 300m ümbruses. Sellest võib järeldada, et uuritavaid seob teatud liikumismuster, mis seab nad perioodiliselt üksteise suhtes antud kaugustele.

Seetõttu lisatakse algselt määratud vahemaa parameetrite lävenditele ka 200m lävend, sest selliselt on olulisemad paaridevaheliste vahemaaade registreerimise sammud statistilistes analüüsides

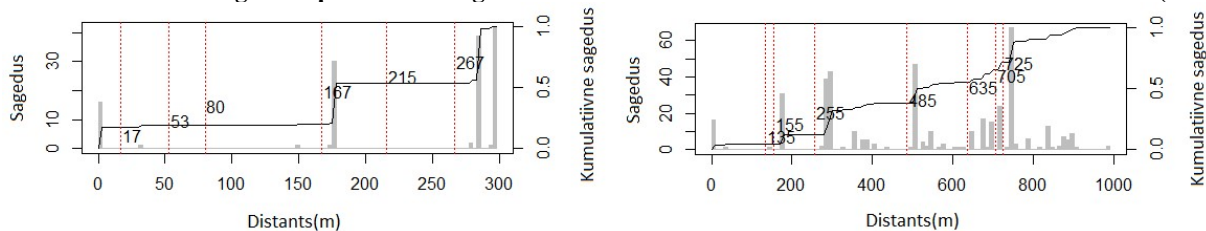
paremini kajastatud. Kuna inimestevaheline üksteist mõjutav kontakt toimib tõenäoliselt ikkagi väiksema vahemaa sees ja on soov välja selgitada, kas DI statistikute analüüsi vahemaa parameetrite erinevused mõjutavad, jätkatakse ka eelnevalt defineeritud künnistega.



Joonis 6. Samaaegsete positsioneerivate vaheliste vahemaaade esinemine aasta lõikes (n=5)



Joonis 7. Samaaegsete positsioneerivate vaheliste vahemaaade esinemine nädala lõikes (n=5)



Joonis 8. Samaaegsete positsioneerivate vaheliste vahemaaade esinemine päeva lõikes (n=5)

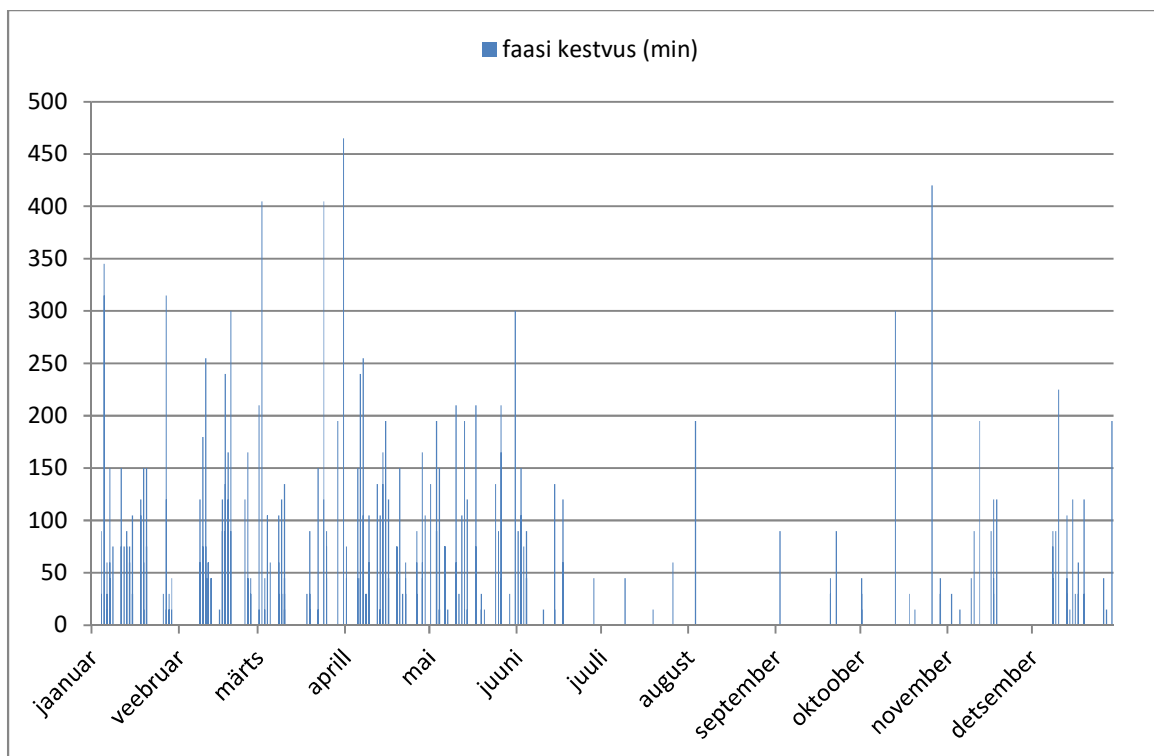
Kuna 300m on uurimuses määratud d_c piir, siis võib 300m sees kohtumiste vahemaid kujutavat sagedusdiagrammi võtta ka kohtumiste sageduse diagrammina. Joonistelt selgub, et aasta, nädala ja päeva lõikes domineerivad küll kolm suuremat kasutajatevaheliste vahemaaade sammu, aga väiksemal määral esineb ka muid „kohtumiste“ vahemaid.

1000m raadiuses ei teki nii tugevalt domineerivaid, üksikuid kasutajatevaheliste vahemaaade samme, kuid suuremad sammud on siiski eristatavad. Päeva, nädala ja aasta lõikes on suuremad kontaktide registreerimised 0m, 200m, 300m, 500m, 650m ning 730m läheduses. Nädala ja aasta

lõikes on suuremad sammuna sagedusdiagrammil tuvastatav ka 400m ümbrus. Kuigi päev on väga lokaalne näide, on samaaegsete positsioneerimiste vaheliste vahemaade sagedusdiagrammide põhjal sellel tasemel andmete jaotumine võrreldav nädala- või aasta tasemega.

Kontaktifaasid

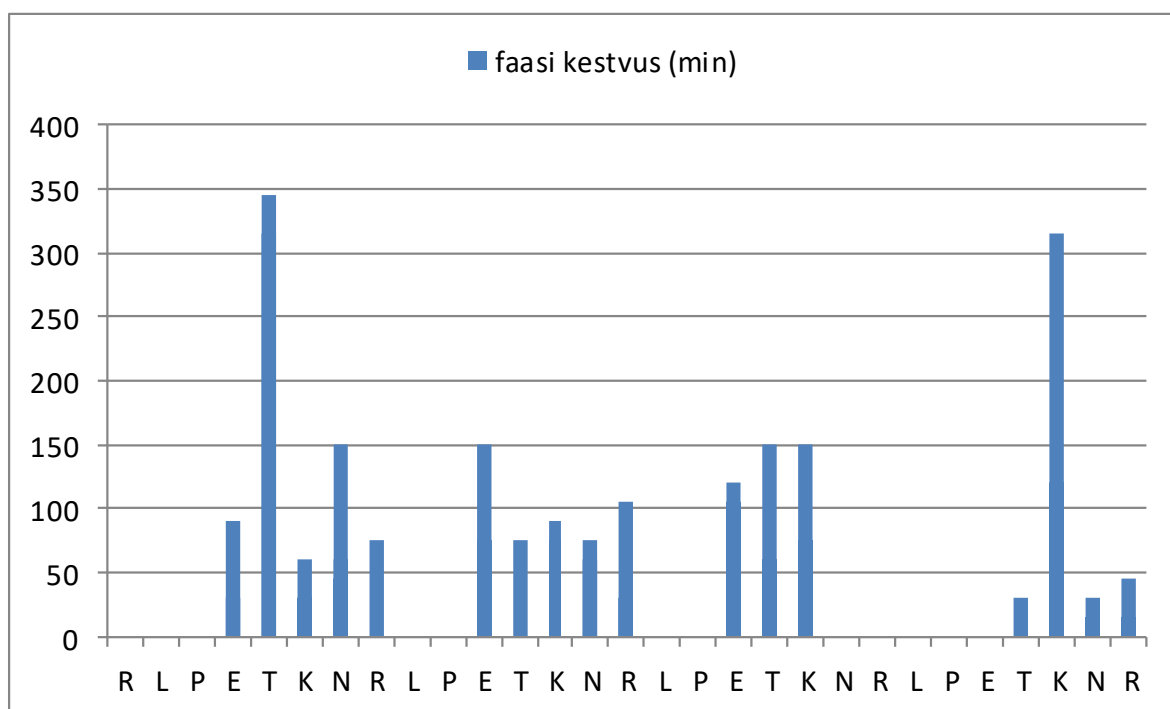
Kontaktifaas on kestav kontakt kahe isiku vahel, mis kestab kuni selle katkestab suurem ajaintervall, kui see, mille määrab uurija. Kontaktifaaside arvutamiseks kasutati paketi „WildlifeDI“ (Long 2019) funktsioone „conProcess“, „conPhase“ ja „conTemporal“, ning mille abil saab viia läbi kontaktianalüüsi liikumisandmetega jälgitud indiviidide grupi liikmete vahel. Lubatud katkestus (*parameter contact, p_c*) on siin töös 30 minutit, tuletatakse regulaarse intervalliga positsioneerimisandmete puhul ajaparametri lävendi alusel, mis on siin $t_c=15$ min. Kontaktianalüüsis rakendati koguvalimit, vahemaa lävendiks jäi $t_c=100$ m. Näitena on välja toodud ühe indiviidi päeva pikimad kontaktifaasid ülejäänud valimi liikmetega ühe aasta (joonis 9) ja ühe kuu (joonis 10) lõikes.



Joonis 9. Ühe indiviidi päeva pikimad kontaktifaasid ülejäänud valimi liikmetega ühe aasta lõikes 100m raadiuses.

Joonisel 9. on toodud välja ühe indiviidi pikimate kontaktifaaside jaotus aasta lõikes. Kuna töö üheks eesmärgiks oli tuvastada lisaks muudele koosviibimist kirjeldavatele näitajatele kui kaua uuritavad koos viibisid, otsustati kasutada päeva pikimat kontaktifaasi, mis esindab kindlat, reaalselt toimunud kontaktifaasi, mitte ei ole seda esindav tuletis (keskmine, faaside summa etc.). Seejuures võib kontaktifaasi defineerida kui sotsiaalvõrgustikus kontakte ühendavat serva, või seost, millele on antud kaal (Newman 2003). Aegrealt on tuvastatavad kontaktifaaside muutused läbi aasta – kontaktifaasid on tihedamad ja pikemad aasta esimeses pooles, jaanuarist maikuuni.

Sellesse perioodi jäävad ka kõige pikemad võimalikud kontaktifaasid, mille pikkus on 400- 450 minutit ehk 6,5 kuni 7,5 tundi. Juunikuust oktoobrini on kontaktifaasid harvad, kuid kestavad siiski keskmiselt 50 minutit. Novembris ja detsembris kontaktifaaside tihedus sageneb taas ning pikimate faaside pikkus on keskmiselt 100 minutit. On märgata, et kontaktifaasid ei ole kuude lõikes pidevad ehk kuu kõik päevad ei ole kontaktifaasiga esindatud ja perioodiliselt tekivad faaside vahele pausid. On võimalik, et olukord demonstreerib indiviidi perioodilist käitumist, mida on näiteks lahti mõtestanud Hägerstrand (1970) ning Eagle & Pentland (2009), kuid aeGRIDade kattuvuse histogrammilt (joonis 5) selgus, et positsioneerimise aeGRID kasutajate vahel ei kattunud sajaprotsendiliselt, mistõttu võib tegemist olla ka andmeaukudega. Olukorra lähemalt uurimiseks analüüsitakse sama kasutaja pikimaid kontaktifaase ka ühe kuu lõikes (joonis 10).



Joonis 10. Ühe indiviidi päeva pikimad kontaktifaasid ülejäänud valimi liikmetega ühe kuu lõikes 100m raadiuses.

Ühe kuu lõikes on faaside pikkus pigem ühtlane, jäädes 100 minuti lähedusse. Kahel korral on pikim kontaktifaas üle 300 minuti ehk üle viie tunni ja kuu lõpus esindab kolme päeva alla 50 minuti jääv pikim kontaktifaas. Selgelt tuleb välja, et kontaktifaasid toimuvad ainult tööpäevadel. Seega, teadmata valimi liikmete tegelikku tausta ja sotsiaalseid suhteid või põhilisi, töö-kodu ankrupunkte (Aasa *et al.* 2008), peale fakti, et tegemist on ühise töörühma liikmetega, võib eeldada et kontaktifaaside kirjelduses näitena välja toodud indiviidi ühendab teiste valimi liikmetega tööalane või muu analoogne, aga mitte perekondlik (kodu-ankrupunktist lähtuv) suhe, ning uuritav kuulub potentsiaalselt sotsiaalvõrgustikku (Borgatti *et al.* 2009). Kui esmalt läheneti käesolevas töös Borgatti *et al.* (2009) kaksiksuhte tüpoloogia järgi võrgustikule asukohapõhiselt, siis leiti nüüd kinnitus, et andmeanalüüsi abil on võimalik edasi leida ka teisi seoseid, mis siin tuli välja sotsiaalse suhte, täpsemalt potentsiaalse töösuhtena. Nendest tulemustest õnnestus hetkel

seaduspärasid välja lugeda, sest uuritava indiviidi kontaktifaasidel põhinev suhe kõigi teiste grupi liikmetega on vähemalt antud kuu lõikes sarnase mustriga. Seejuures võib kindlamalt väita, et on tegemist Hägerstrandi (1970) järgi sagedase gruppide tekkimise põhjusega - inimeste perioodilise käitumisega, sest järgitakse päevast päeva samu ajalisi rütme. Selleks, et kindlaks teha, kas kontaktifaaside analüüs ja aeGRIDade interpreteerimine sobib sarnaste aeg-ruumiliste piirangutega (Hägerstrand 1970) inimeste sotsiaalse võrgustike määramiseks mobiilpositsioneerimise andmetest, on vaja viia läbi põhjalikumaid, kontrollgrupiga uurimusi. Sarnaselt on kontaktifaaside analüüsil potentsiaali kahe isiku omavahelise suhtetasandi kindlakstegemiseks, kuid ka selle tõestamiseks on hüpoteesi vaja kontrollida kontrollvalimiga.

Kohtumiste statistiline ülevaade

Kohtumiste statistilise ülevaate saamiseks tehti töös ka kokkuvõtte kogu valimist nii aasta (tabel 2), nädala (tabel 3) kui päeva (tabel 4) lõikes. Selleks kasutati paketi „WildlifeDI“ (Long 2019) funktsiooni „conSummary“. Siin näitab positsioneerimiste arv positsioneerivate koguarvu andmestiku peale; kohtumiste arv on kohtumisena loetud positsioneerivate koguarv; faaside arv näitab kohtumiste faaside arvu; lisaks on välja toodud pikima-, keskmise- (*mean*) ja mediaanfaasi kestvus minutites; ühe positsioneeriva faas on faaside arv, mille kestvus on üks positsioneeriv (hetkelised faasid).

Aasta lõikes oli uuritavate vaheline pikim kontaktifaas kuni 100m raadiuses 480 minutit ehk 8 tundi, 200m raadiuses 1695 tundi, mis teeb kokku 1,2 ööpäeva ning 300m raadiuses 12810 tundi, mis on peaaegu 9 ööpäeva. Ka nädala lõikes on pikimad faasid tähelepanuväärsed, kuid vahemaa lühenemise vahel varieeruvad vähe - 50m kuni 200m raadiuses kestab pikim faas umbes ööpäeva, 300m raadiuses lausa 4335 tundi ehk kolm ööpäeva. Ühe päeva lõikes positsioneerimiste ja kohtumiste arvud vahemaa künniste vahetamisel küll muutuvad, kuid faasi pikkuste väärtus jääb kõikide künniste lõikes samaks. Kuigi päev on küll liiga väike valim, et olulisi järeldusi teha, saab selle päeva näitel öelda, et olulisi kontakti faase toimub ka 50m piires. Tugevama kindlusega saab seda öelda nii nädala analüüsi aluses, kus keskmine faasi pikkus 50m raadiuses on 159 minutit ja ka terve aasta lõikes, kus keskmine faasi pikkus 50m raadiuses on 52 minutit.

Aasta lõikes on näha ka, et hetkeliste faaside ehk nende faaside, mille kestvus on üks positsioneeriv, on päris suur, eriti väiksemate vahemaa künniste korral. 50m raadiuses on neid 745, 100m korral lausa 777, suuremate vahemaa künniste puhul jääb nende arv taas väiksemaks, ehk need tõenäoliselt liidetakse teiste faasidega. Samasugust mustrit näeb nädalapõhise analüüsi juures, kus faaside arv 300m juures väheneb teiste künniste tulemustega võrreldes. Siingi liidetakse tõenäoliselt mõned lühemad faasid kokku üheks pikemaks.

Tabel 2. Kontaktianalüüsi kokkuvõte aasta lõikes (n=5) nelja erineva vahemaa parameetri lävendiga (dc= 50, 100, 200, 300m).

Aasta				
Tulemus	dc=50 m	dc= 100 m	dc = 200 m	dc = 300m
Positsioneerimiste arv	113424	113424	113424	113424
Kohtumiste arv	5969	6073	10859	31016
Faaside arv	1744	1788	1963	3167
Pikim faas (min)	1480	1480	1695	12810
Keskmine faas (min)	52	51	91	167
Mediaanfaas (min)	15	15	45	45
Ühe positsioneeringu faas	745	777	709	101

Tabel 3. Kontaktianalüüsi kokkuvõte nädala lõikes (n=5) nelja erineva vahemaa parameetri lävendiga (dc= 50, 100, 200, 300m).

Nädal				
Tulemus	dc=50 m	dc= 100 m	dc = 200 m	dc = 300m
Positsioneerimiste arv	2911	2911	2911	2911
Kohtumiste arv	277	280	443	1214
Faaside arv	20	20	22	18
Pikim faas (min)	1433	1433	1449	4335
Keskmine faas (min)	159	159	147	1030
Mediaanfaas (min)	7	7	9	20
Ühe positsioneeringu faas	4	4	3	0

Tabel 4. Kontaktianalüüsi kokkuvõte päeva lõikes (n=5) nelja erineva vahemaa parameetri lävendiga (dc= 50, 100, 200, 300m).

Päev				
Tulemus	dc=50 m	dc= 100 m	dc = 200 m	dc = 300m
Positsioneerimiste arv	472	472	472	472
Kohtumiste arv	34	34	63	192
Faaside arv	5	5	5	5
Pikim faas (min)	23,8	23,8	23,8	23,8
Keskmine faas (min)	23,8	23,8	23,8	23,8
Mediaanfaas (min)	23,8	23,8	23,8	23,8
Ühe positsioneeringu faas	0	0	0	0

Kokkuvõtvalt võib öelda, et esmased kirjeldavad statistikud andsid andmetest põhjaliku ülevaate ning nende põhjal oli võimalik leida kinnitus dünaamilise interaktsiooni statistilise analüüsi jaoks vajalikule nõudele, et positsioneerimisandmed oleksid samaaegsed ja ruumiliselt lähestikku. Lisaks selgus, et kasutatavate andmete resolutsioon on nii positsioneerimiste ajasammu kui positsioneerimistäpsuse kohapealt piisavalt hea, et tuvastada mobiilikasutajate koosviibimine kindlaksmääratud vahemaade raadiuses, ning leida koosviibimist kirjeldavaid seaduspärasid. Samuti oli võimalik määrata koosviibimise alusel uuritavatele isikutele potentsiaalne

suhtlustasand ning tuvastada võimalik suhtlusvõrgustik. Hüpoteeside tõlevastavuse testimiseks on vaja analüüsid viia läbi kontrollvalimiga.

3.2 Dünaamilise interaktsiooni statistikud

Dünaamilise interaktsiooni analüüsiga mõõdetakse töös tõmbuvat või vältivat käitumist, milleks sobib punktipõhine lähenemine (Macdonald *et al.* 1980; Doncaster 1990) ja kahe indiviidi liikumise seotust, kus on vajalik teekonnapõhine lähenemine (Long & Nelson 2013, Shirabe 2006) ning samaaegset ühise ala kasutust (Minta 1992). Töö üks eesmärk on rakendada DI statistikuid inimeste liikumisi kirjeldavatele mobiilpositsioneerimisandmetele, et leida, kas ja missugused statistikud ja parameetrite lävendid inimeste interaktsioonide tuvastamiseks sobivad.

Statistilise analüüsi käigus selgus, et üldvalimi andmemah, mis sisaldab 5 mobiilikasutaja positsioneerimisandmeid terve aasta jooksul, seab statistilisele analüüsile mõningaid piiranguid. Nimelt sobib see küll üldiseks, liikumisandmete seoseid ja mustreid uurivaks statistiliseks analüüsiks, aga dünaamilise interaktsiooni statistikute arvutamise jaoks oli üldvalimi mah ebavajalikult suur mõne arvutuse läbiviimiseks (nõudis proportsionaalselt liiga palju aega ja arvutimahtu). Ka ei oleks kõikide paaride DI-statistikute arvutamine tegelikult toimunu võrdluse (*ground-truth*) puudumisel lisanud üldisele tulemusele olulist sisu juurde. Seepärast on DI statistikute väärtused leitud ühele kasutajapaarile, sealjuures võrreldes statistikuid eraldi aasta, nädala ja päeva lõikes nelja erineva vahemaa parameetri lävendiga ($d_c = 50, 100, 200, 300\text{m}$)(tabel 5).

Tabel 5. Dünaamilise interaktsiooni statistikute väärtused ühe mobiilikasutajate paari ühe aasta, nädala ja päeva mobiilpositsioneerimisandmete põhjal nelja erineva vahemaa parameetri lävendiga ($d_c = 50, 100, 200, 300\text{m}$).

Analüüsiperiood	Aasta				Nädal				Päev			
DI-statistik	Vahemaa parameetri lävend				Vahemaa parameetri lävend				Vahemaa parameetri lävend			
	50m	100m	200m	300m	50m	100m	200m	300m	50m	100m	200m	300m
Prox	0.004	0.004	0.01	0.178	0.002	0.002	0.003	0.259	0	0	0	0.461
Ca	0.003	0.003	0.007	0.127	0.002	0.002	0.003	0.243	0	0	0	0.443
Don (p-väärtus)*	#Error	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cs**	x	0.004	x	x	x	-0.003	x	x	x	0.0167	x	x
Lixn***	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
HAI	0.004	0.005	0.01	0.195	0.002	0.002	0.005	0.339	0	0	0	0
Cr****	x	-0.003	x	x	x	-0.04	x	x	x	-0.104	x	x
DI****	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
*Andmemah on arvutuseks liiga suur												
**Kasutatakse koordinaatide vaheliste vahemaade toorandmeid, mitte uurija defineeritud määra												
*** Kui üks kodupiirkond sisaldab teist täielikult, ei arvutata Lixn väärtust												
**** Teekonnapõhine, et kasuta vahemaa parameetrit (d_c)												

Läheduskordaja (Prox) - Läheduskordaja abil on võimalik mõõta kahe indiviidi tõmbuvat liikumiskäitumist tuginedes sellele, kui tihti on kaks uuritavat üksteise läheduses. Long *et al.* (2014) dünaamiliste interaktsioonide võrdlevast uurimusest tuli välja, et läheduskordaja väärtused erinevates uuritud juhtumites andsid korrektseid tulemusi ja olid praktiliselt identsed kahe teise statistiku – assotsiatsioonikordaja (Ca) ja pool-kaalu assotsiatsiooniindeksiga (HAI). Osaliselt pidas hinnang paika ka käesolevas töös mobiilpositsioneerimisandmetega ühe mobiilikasutajate

paari liikumisi jälgides. Nimelt olid läheduskordaja ja assotsiatsioonikordaja väärtused teineteisega väga sarnased. HAI väärtustega Prox ei sarnanenud, aga see oli tingitud HAI arvutamise põhimõttest, mis tugines kodupiirkondade võrdlemisele, mis käesolevas töös tegelikku sisu ei omanud.

Prox väärtuste puhul näitab 1 tõmbuvat liikumiskäitumist ja 0 seose puudumist. Prox väärtused näitavad käesolevas töös stabiilselt nii aasta kui nädala lõikes uuritavate tõmbuva liikumiskäitumise puudumist, kuigi 300m d_c puhul indeks siiski tõusis suurema sammuga. Ühe päeva lõikes oli väiksemate vahemaa lävendite puhul Prox väärtus 0, ehk ilmselt ei registreeritud selliste vahemaade tagant ühtegi samaaegset positsioneerimist. See-eest näitab 300m lävendi korral väärtus nõrka tõmbuvat liikumiskäitumist ($\text{Prox}=0.461$). Samas on siin valim ($n=2$) ja analüüsiperiood (päev) liiga väike ja vahemaa lävend (300m) liiga suur, et üldiseid järeldusi teha.

Assotsiatsioonikofitsient (Ca) mõõdab Proxiga sarnaselt tõmbuvat liikumiskäitumist, ainult et Ca mõõdab kõikide, mitte ainult samaaegsete positsioneerimiste määra (Cole 1949). Kui $\text{Ca} > 0.5$, näitab see tõmbuvat liikumiskäitumist, kui $\text{Ca} < 0.5$, näitab see, et interaktiivne läbikäimine puudub. Käesolevas töös läbi viidud analüüsi põhjal võib väita, et valimi resolutsiooni muutmisele reageerib statistik vähe ning samuti pidas paika Ca ja Prox statistikute väärtuste sarnasus. Saadud tulemused on kooskõlas Long *et al.* (2014) analüüsis leitud tulemustega. Sarnaselt Prox statistikuga tõusis statistiku väärtus 300m künnise korral, kuid üldiste järelduste tegemiseks peaks ilmnenu nähtust süvendatumalt ja suurema valimiga uurima. Nii aasta, nädala kui päeva lõikes jäid 50, 100 ja 200m vahemaa künnisega Ca väärtused 0-0.007 piirimaile

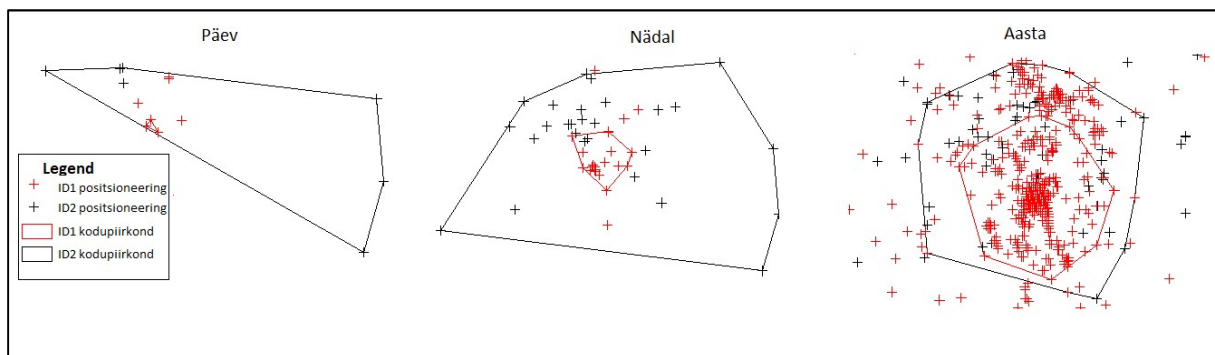
Sotsiaalsuskoefitsient (Cs) puhul, mis loodi alternatiivina tõmbuva käitumise mõõtmiseks (Kenward *et al.* 1993), kasutatakse koordinaatide vaheliste vahemaade toorandmeid, mitte uurija defineeritud määra. Tulemused on sümmeetrilised ($[-1,1]$), ning positiivsed väärtused näitavad tõmbumist, negatiivsed vältimist. Sarnaselt Ca ja Prox väärtustega näitasid ka Cs tulemused käesolevas töös seotud liikumise puudumist valimi liikmete vahel. Väike variatiivsus tulemustes esines, nimelt aasta lõikes oli Cs väärtus positiivne, $\text{Cs}=0.004$, kuid nädala lõikes negatiivne, $\text{Cs}=-0.003$. Sarnaselt Ca ja Prox statistikutele, reageeris ka Cs päeva lõikes võrreldes teiste ajaperioodidega tugevamini ($\text{Cs}=0.017$) kuid muutus oli väiksem kui Ca ja Prox statistikul, mida võib põhjendada ka sellega, et selle statistiku puhul kasutati vahemaade toorandmeid ja seetõttu vahemaa parameetri künnise detailsust muuta ei saanud. Long *et al.* (2014) analüüsi põhjal suudab Cs statistik identifitseerida kõik interaktsioonid või nende puudumise, kuid indeksit iseloomustab väga kõrge tüüp I viga (palju valepositiivseid tulemusi). Kuna käesolevas töös on Long *et al.* (2014) uurimuse andmetel kõige korrektsemalt interaktsioone tuvastavad Ca ja Prox indeksid väljendanud interaktsioonide puudumist, siis võib väita, et siin töös on ka Cs statistik interaktsioonide puudumise korrektselt tuvastanud.

Doncasteri (1990) meetod (Don) –võrdleb samaaegsete allapoole d_c määra jäävate positsioneerimiste suhet nendega, mida võib oodata kõikide positsioneerimiste vaheliste vahemaade jaotust arvesse võttes. Don statistiku analüüsi tulem on tõenäosustabel samaaegsetest kontakti väljendavatest ja üksikutest positsioneerimistest all-, ja pealpool vahemaa künnist koos

kaasneva p-väärtusega (hii-ruut test). Long *et al.* (2014) hindasid testi sobivaks interaktsioonide ära tundmisel, kuid ka sellel indeksil oli kõrge tüüp I viga.

Antud töös oli Don-i arvutamine on äärmiselt ressursimahukas ja suurte andmemahude juures seda hetkel arvutada ei olnud võimalik. Lühemate perioodide, nädala ja päeva lõikes on andmemahud väiksemad ja Don-i statistikut oli kahest indiviidist koosneva valimi puhul osaliselt võimalik arvutada, aga parameetrite võrdluse pidevusest lähtudes ei ole neid siin välja toodud.

Minta ruumilise ja ajalise interaktsiooni testi (Lixn) puhul on vaja välja arvutada indiviidide kodupiirkond, mis jagatakse kolme piirkonda: piirkonnad, kus viibivad ainult kas indiviid α või indiviid β ja piirkond, kus α ja β ühiselt viibivad (kattuv piirkond). Igas piirkonnas salvestatud koordinaate võrreldakse tõenäosusega leida sellest alast indiviide. Tõenäosuse tugevust saab tuletada võttes arvesse kas kõikide koordinaatide osakaalu igas erinevas piirkonnas või ülekatte piirkonna protsente. Kuigi loomaökoloogias kasutusel olev kodupiirkondade arvutamise põhimõte ei sobi tõenäoliselt inimeste kodupiirkondade arvutamiseks liikide oluliste käitumuslike eripärade tõttu, viidi käesolevas töös statistiku põhimõtte uurimiseks läbi ka kodupiirkondade arvutamine Lixn statistiku väärtuste leidmiseks. Töös on kodupiirkond arvutatud minimaalse kumera hulknurga meetodil (*Minimum Convex Polygon, MCP*), kuna ei ole andmeid inimestele sobivamaist meetodist ning antud meetodi arvutamine nõudis vähe arvutiresurssi. Kogu andmehulgaga prooviti kodupiirkonda arvutada ka Delaunay triangulatsioonimeetodiga (*Home Range by Delaunay Triangulation method*), aga selle meetodi analüüs oli sisendiks määratud valimi suuruse ja parameetritega arvutile liiga andmemahukas ja arvutusprotsess katkestati. Ülejäänud kodupiirkonnad on loodud järjepidevust silmas pidades MCP-ga (Joonis 11).



Joonis 11. Kodupiirkonna arvutamise näited minimaalse hulknurga meetodil päeva, nädala ja aasta lõikes

Jooniselt on näha, et arvutatud kodupiirkonnad kattuvad täielikult, ühe isiku kodupiirkond on täielikult teise isiku kodupiirkonnas. Kolme erineva perioodi lõikes muutub mõlema isiku kodupiirkonna kuju ja suhe üksteise suhtes täielikult, millest võib järeldada, et erinevatel perioodide kohta arvutatud statistiku väärtused ei oleks omavahel võrreldavad. Päeva ja nädala lõikes, mil üheaegseid positsioneerimisi kahe inimese vahel on oluliselt vähem, sõltub kodupiirkonna arvutamine liiga vähestest kirjetest ja on ka selletõttu ebausaldusväärne. Statistiku edasist analüüsi ei olnud võimalik läbi viia, sest kui üks kodupiirkond ümbritseb teist täielikult, Lixn statistikut ei arvutata.

Pool-kaalu assotsiatsiooniindeksit (HAI) käsitletakse Lixni testi kaastestina (Brotherton *et al.* 1997) ning sarnaselt Lixn-iga toetub kahe indiviidi kodupiirkondade kattuva ala analüüsimisele. Kuna HAI on rohkem lokaliseeritud lähenemine, mis keskendub ainult koordinaatidele kattuvast piirkonnas, siis oli võimalik statistikut arvutada. Statistiku väärtused, mis lähenevad nullile, näitavad vältivat- ja väärtused, mis lähenevad ühele, tõmbuvat käitumist kodupiirkonnas. Statistiku väärtused näitavad väga tugevat vältivat käitumist väiksema vahemaa künnise juures nii aasta kui nädala lõikes (HAI väärtus varieerub siin 0.02 ja 0.05 vahel), mis ei ole tegelikkuses antud valimi juures kuigi tõenäoline. Seega võib nentida, et kuigi indeksi väärtuseid on võimalik välja arvutada, võib väärtuste tugevustest välja lugeda ka selle statistiku sobimatust inimeste interaktiivse käitumise iseloomustamiseks.

Korrelatsiooniindeks (Cr) on üks kahest teekonnapõhisest statistikust ning see analüüsib liikumissegmentide sidusust (Shirabe 2006). Cr väärtused varieeruvad 1 kuni -1, positiivsed väärtused osutavad sidusale liikumisele, negatiivsed väärtused vastandlikule liikumisele ja nulli lähedal paiknevad väärtused juhuslikule liikumisele teise indiviidi suhtes. Kuna Cr puhul ei kasutata sisendina vahemaa parameetrit, sai indeksi antud töös arvutada aasta, nädala ja päeva lõikes. Tulemused sarnanesid Prox ja Ca väärtustega ning näitasid kahe uuritava vahel juhuslikku, mitteseotud liikumist, seejuures varieerus väärtus – 0.003 (aasta) ja -0.104 (päev) vahel.

Dünaamilise interaktsiooni indeks (DI) mõõdab sarnaselt Cr-ga dünaamilist interaktsiooni kahe liikuva objekti vahel (Long & Nelson 2013). Kuna DI statistiku arvutamiseks peaks uurijal olema a priori eeldus uuritavate sidusast liikumisest, mis antud uurimuse puhul puudus, jäeti DI indeksi väärtuseks 0, mis on indeksi loojate kohaselt (Long & Nelson 2013) analoogsetes olukordades soovituslik lähenemine

Kokkuvõtvalt saab dünaamiliste interaktsioonide analüüsi kohta öelda, et hetkelise suurima võimaliku andmetäpsuse juures (positsioneerimiste intervall 15 min ja positsioneeringu suurim võimalik täpsus 50m) on DI statistikute sobivus inimeste dünaamilise interaktsiooni analüüsiks olenevalt statistiku arvutuspõhimõttest väga varieeruv. Mõned statistikud tunduvad andvat korrektseid väärtuseid, kuid nende tõele vastavust tuleks kontrollgrupiga testida. Sellesse gruppi kuuluvad statistikud on läheduskordaja (Prox), assotsiatsioonikordaja (Ca), sotsiaalsuskoefitsient (Cs) ja korrelatsiooniindeks (Cr). Samas tuleb siin silmas pidada statistikute eelnevalt testitud objektiivsust, mis näiteks Cs puhul on hinnatud nõrgaks ning see annab Long *et al.* (2014) uuringu kohaselt liigselt valepositiivseid tulemusi. On ka võimalik, et koos liikumise uurimiseks on Tartu linn liiga väike ala ja dünaamilise interaktsiooni tuvastamiseks tuleb uuringuala laiendada.

Kahe indeksi – Lixn ja HAI kasutamine on seotud kodupiirkonna võrdlusega, mille arvutamine ei ole inimeste juures asjakohane ja seetõttu hetkel tulemusi õigeks lugeda ei saa. Don-i arvutamine on väga ressursimahukas ja suurte andmemahtude juures on selle arvutamiseks vaja võimsamat arvutit.

Vahemaa parameetrite lävendi muutmisel tõusis DI statistikute väärtus samuti ootuspäraselt. Päeva lõikes võib täheldada juba viidet tõmbuvale liikumiskäitumisele, kuid arvestades valimi suurust (n=2) ja analüüsiperioodi pikkust (päev) ja vahemaa lävend (300m), ei saa selle põhjal

üldiseid järeldusi teha. Analüüsiperioodide - aasta, nädala ja päeva võrdluses tuleb välja väärtuste vähenemine varieeruvus aasta ja nädala võrdluses ja ootuspärane suurem varieeruvus ühe päeva DI analüüsi väärtustega.

Ühe võimaliku dünaamilise interaktsiooni statistikute väärtuste mõjutajana võib välja tuua ka inimese teistsuguse aegruumilise käitumise, millele rakenduvad piirangud (Hägerstrand 1970) on tõenäoliselt loomadele rakenduvatest piirangutest erinevad. Näiteks ühe päeva teekonna, mis on samuti Hägerstrandi (1970) aeg-ruumi kontseptsiooni osa, jooksul võib inimene liikuda ühte kindlasse keskkonda (näiteks hommikul tööle) ja seejärel sealt tagasi (õhtul töölt koju), mis teoreetiliselt sisaldab endas nii tõmbuvat kui vältivat liikumiskäitumist teiste selles kindlas keskkonnas kohatud inimestega. Ideed kannab edasi joonis 4, kuigi algses kontekstis rakendus idee ainult Shirabe (2006) sidusa liikumise kirjeldamisele.

3.3 Tulevikupotentsiaal ning võimalikud piirangud

Kuigi käesolevas töös oli võimalik leida mitmeid seaduspärasid inimeste dünaamilises käitumises ning saadi ülevaade erinevatest inimeste liikumisandmeid analüüsida võimaldavatest meetoditest, seadis uurimustöö maht omad piirid ja mitmed potentsiaalsed võimalused jäid rakendamata. Seetõttu on järgnevalt toodud välja punktid, millele keskendumine edasistes sotsiaalset liikumiskäitumist uurivates töödes tundub käesoleva töö põhjal suure potentsiaaliga. Samuti tuuakse välja sarnaseid töid ohustavad piirangud.

Esmalt tuli käesolevas töös välja, et koduareaali kasutamine ühise ala kasutamise analüüsil inimeste liikumisele ei sobi, vähemalt siin testitud kujul mitte. Üks võimalus oleks katsetada kodupiirkonna asemel ankrupunktidega ja uurida, kas nende alusel on võimalik ühise ala kasutamist tõhusamalt analüüsida.

Ankrupunktide kasutamine lisaks ka uued võimalused liikumisanalüüsile sotsiaalse konteksti lisamises. Näiteks annaks see potentsiaalse võimaluse tuvastada inimeste lähedusastmeid kindla ankrupunkti põhjal - perekond kodu-ankrupunktis, töökaaslased töö-ankrupunktis, ning siit edasi ka võimaluse tuvastada moodustuvaid võrgustikke.

Oluline tundub ka kontrollvalimi lisamine järgnevates uurimustes, mis annaks vajaliku pidepunkti leitud tulemustele. See võimaldaks ka kontrollida erineva täpsusega parameetrite potentsiaalselt erinevaid rakendamisvõimalusi. Lisaks annaks see võimaluse kindlaks teha andmepidevuse mõju dünaamiliste interaktsioonide analüüsitulemustele.

Kui käesolevas valimis kasutati aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, siis varjavad suurt potentsiaali passiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, mille analüüsile kehtivad tõelisel osaliselt teistsugused reeglid, kuid mille paigutamine dünaamiliste interaktsioonide analüüsi konteksti võib andmete rohkuse tõttu anda väga laiaulatusliku pildi inimeste interaktiivsest käitumisest.

Siiski tuleb märkida, et mobiilpositsioneerimise täpsusele seab nii Eestis kui tunduvalt enam mujal maailmas suure piirangu mobiilimastide arv ning võrgukärje suurus, mistõttu dünaamilise interaktsiooni uurimine linnadest, teedevõrgustikust ja muudest parema mobiilivõrguga kaetud

piirkondadest eemal on tunduvalt raskendatud. Ka tiheasustatud aladel tuleb dünaamilise interaktsiooni analüüsiga leitud tulemusi tõlgendada teatud ettevaatusega, sest näiteks käesolevas töös kasutatud andmete puhul kasutatud maksimaalse positsioneerimise täpsuse, 50m pealt, ei saa kindlaks teha, et inimesed on tõesti näost-näku kohtunud.

Suur ohukoht analoogsete uurimuste puhul on ka andmete suur tundlikkus ja andmetega seotud privaatsus, mida toovad esile ka Ahas *et al.* (2007c) ning Kostakos *et al.* (2010), mistõttu on uuringutes võimalik kasutada vaid piiratud hulka mobiili kasutajat iseloomustavaid andmed (Ahas *et al.* 2010). Ka dünaamilise interaktsiooni või koosviibimise tuvastamisega seotud edasistes töödes tuleb lähtuda uuritavate privaatsusest ja leida analüüsis taseme optimaalne piir.

4. Kokkuvõte

Inimestevaheliste sotsiaalsete suhete, nende dünaamika ning inimeste liikumiskäitumise mõistmine aitab aru saada ka terve ühiskonna dünaamikast. Seaduspärad inimeste dünaamilises käitumises aitavad mõista selle mustreid ja mõjutavaid protsesse, näiteks inimeste mobiilsust, võrgustike tekke aluseid, integratsiooni. Samuti on saadaval järjest täpsemad liikumisandmed, aga vastavat metoodikat nõ kontaktivabalt saadud andmetega inimestevaheliste koosviibimiste ja üksteist mõjutava liikumiskäitumise kohta pole arendatud.

Töö eesmärk oli välja selgitada, kuidas on võimalik inimestevahelisi dünaamilisi interaktsioone, koosviibimist ja koos liikumist mobiilpositsioneerimise andmetega metoodiliselt uurida ning millised väljatöötatud meetodid selleks kõige enam sobivad. Täpsemalt analüüsiti Tartu Ülikooli mobiilsuslabori uurimisrühma aktiivse mobiilpositsioneerimise andmeid, et leida kus, kui kaua, kui tihti uuritavad koos viibivad ning missugused statistikud ja parameetrite lävendid selle leidmiseks sobivad. Selgitati välja, kas antud andmetest on võimalik välja lugeda üksteist mõjutavat liikumist ja muid lähestikku paiknemisega seotud seaduspärasid.

Esimese osa andmeanalüüsist moodustas andmeid kirjeldav statistiline analüüs, veendumine, et on täidetud eeldusnõuded dünaamilise interaktsiooni analüüsiks ning ka esmane statistiline analüüs inimeste koosviibimise leidmiseks.

Teise osa andmeanalüüsist moodustab dünaamilise interaktsiooni analüüs, kus hinnatakse nii seni välja töötatud dünaamilise interaktsiooni meetodite sobivust inimeste liikumisandmete jaoks kui viiakse läbi statistiline analüüs üksteist mõjutava liikumise kirjeldamiseks.

Esmane kirjeldav statistiline analüüs andis andmetest vajaliku ülevaate ning nende põhjal oli võimalik leida kinnitus dünaamilise interaktsiooni statistilise analüüsi jaoks vajalikule nõudele, et positsioneerimisandmed oleksid samaaegsed ja ruumiliselt lähestikku. Lisaks selgus, et kasutatavate andmete resolutsioon on nii positsioneerimiste ajasammu kui positsioneerimistäpsuse kohapealt piisavalt hea, et tuvastada mobiilikasutajate koosviibimine kindlaksmääratud vahemaade raadiuses, ning leida koosviibimist kirjeldavaid seaduspärasid. Samuti oli võimalik määrata koosviibimise alusel uuritavatele isikutele potentsiaalne suhtlustasand ning tuvastada võimalik suhtlusvõrgustik. Hüpoteeside kontrollimiseks on vaja kontrollvalimit.

Antud andmete suurima võimaliku andmetäpsuse juures (positsioneerimiste intervall 15 min ja positsioneeringu suurim võimalik täpsus 50m) on DI statistikute sobivus inimeste dünaamilise interaktsiooni analüüsiks olenevalt statistiku arvutuspõhimõttest väga varieeruv. Mõned statistikud tunduvad andvat korrektseid väärtuseid, kuid dünaamilist interaktsiooni valimi liikmete vahel ei tuvastatud ja statistikute väärtuste tõlevastavust tuleks kontrollvalimiga testida. On võimalik, et koos liikumise uurimiseks on Tartu linn liiga väike ala ja dünaamilise interaktsiooni tuvastamiseks tuleb uuringuala laiendada. Kahe indeksi – Lixn ja HAI kasutamine on seotud kodupiirkonna võrdlusega, mille arvutamine ei ole inimeste juures asjakohane ja seetõttu hetkel tulemusi õigeks lugeda ei saa.

Mitme statistiku arvutamine nõuab väga suurt arvutusvõimsust ja suurte andmemahtude juures on nende arvutamiseks vaja võimsamat arvutit.

Edaspidistes inimeste sotsiaalse dünaamika uurimustes on võimalik siduda analüüs ankrupunktide teooriaga (Aasa *et al.* 2008, Ahas *et al.* 2010), uurida aktiivse mobiil-positsioneerimisandmete kõrval passiivsete mobiilpositsioneerimisandmete mõju analüüsi tulemustele ning laiendada uurimispiirkonda kehvema levialaga piirkondadesse.

Analysis of dynamics of social relations with movement data

Marie Kristine Külvik

Summary

The objective of this research was to find a methodology to analyse social and dynamic interactions and co-presence with mobile positioning data and to determine how suitable are the eight indices of dynamic interaction for analysing human movement data. Dynamic interaction is commonly used in animal ecology to analyse the cohesive movement of animals with telemetry data and it has not yet been used to analyse human movement.

The main research questions were:

1. Where, for how long and how often do the people in the data set meet and what other parameters do characterize the social relations?
2. Which sampling resolutions and thresholds are most suitable for this methodology?
3. How suitable are the eight indices of dynamic interaction for analysing human movement data and is it possible to identify interactive behaviour in this data set?

Active mobile positioning data is a mobile tracing data where the location of a mobile phone is determined using a special query or a request using radio waves. These active location requests can be phone- or network initiated (Ahas *et al.* 2007).

For this research, active mobile positioning data of Tartu University Mobility lab research group was used. The data set consisted of sample of five anonymous people in the time period of a year 2015. The sampling resolution of positioning data was set at 15 minutes. As the most positioned fixes were located in and near the borders of Tartu, Estonia (113 442 fixes out of 137 280), the analysis area was set to the Tartu town with 5 km buffer zone surrounding it.

The first part of the data analysis consisted of descriptive statistics to explore the data and to make sure if it is possible to identify the co-presence between people represented in the data set. Primary data analysis was also needed to make sure if the positioning data was meeting the requirements for analysing the dynamic interaction.

Second part of data analysis consisted of calculating the eight indices of dynamic interaction and evaluating the suitability of their use in human positioning data.

Indices of dynamic interaction can be categorized as point-based, which examine attraction and avoidance behaviour and path-based, that analyse a cohesive movement behaviour. Of the eight currently available indices of dynamic interaction, six are point-based, while two are path-based (Long *et al.* 2014).

Primary statistical data analysis and the dynamic interaction analysis were calculated in the R statistical computing environment using mostly the Package 'wildlifeDI' (Long 2019) that was built specially for dynamic interaction analysis.

Primary descriptive data analysis gave the overview of the data set and it was possible to affirm that positioning data of five people in data set is in close proximal range and simultaneous between the people. Also it became evident that the resolution of used data is high enough to identify the co-presence in the data set in assigned distance ranges (50m, 100m, 200m and 300m). Also, based on the contact phases derived from the exploratory statistics, it was possible to potentially identify a social relationship and presence of social network. To confirm the hypothesis, it has to be tested with controllable data.

With the data used in research (positioning interval of 15 min and maximum gps-data precision of 50 m), it was not possible to confirm the suitability of the indices for dynamic interaction. Yet it was possible to determine the unsuitable parts in the calculation of the indices. Two tests - Minta's test for spatial and temporal interaction (Minta 1992) and Half-weight association index (Brotherton et al. 1997) test for the presence of dynamic interaction within the shared area of the two animals home ranges, whereas the idea of home range can't be projected directly to the human movement data. Also, several indices expected a powerful computer to analyse bigger data sets.

The next steps in the analysis of dynamics of social relations with movement data would be to connect the analysis with the anchor point theory (Aasa *et al.* 2008, Ahas *et al.* 2010), add passive mobile positioning data to the analysis and broaden the research scope to the areas with sparser network coverage to control the effect of less accurate positioning data on the results.

Tänuavaldused

Soovin tänada juhendaja Anto Aasat intrigeeriva teema väljapakkumise, asjatundliku juhendamise ja ülima kannatlikuse eest.

Samuti olen tänulik Tartu Ülikooli Mobiilsusuuringute labori tööruhmale mobiilpositsioneerimisel põhinevate uurimismetoodikate arendamise ja tohutu potentsiaaliga andmete kogumise eest. Ning ka võimaluse eest neid andmeid käesolevas uurimuses kasutada.

Kasutatud kirjandus

- Aasa, A., Järv, O., Saluveer, E., Silm, S., & Ahas, R. (2008).** Methodology of determination of the anchor points based on passive mobile positioning database. *Social positioning method*.
- Ahas, R., & Mark, Ü. (2005).** Location based services—new challenges for planning and public administration?. *Futures*, 37(6), 547-561.
- Ahas, R., Aasa, A., Mark, Ü., Pae, T., & Kull, A. (2007a).** Seasonal tourism spaces in Estonia: Case study with mobile positioning data. *Tourism management*, 28(3), 898-910.
- Ahas, R., Aasa, A., Silm, S., Aunap, R., Kalle, H., & Mark, Ü. (2007b).** Mobile positioning in space–time behaviour studies: social positioning method experiments in Estonia. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(4), 259-273.
- Ahas, R., Laineste, J., Aasa, A., & Mark, Ü. (2007c).** The spatial accuracy of mobile positioning: some experiences with geographical studies in Estonia. In *Location based services and telecartography* (pp. 445-460). Springer Berlin Heidelberg.
- Ahas, R., Silm, S., Järv, O., Saluveer, E., & Tiru, M. (2010).** Using mobile positioning data to model locations meaningful to users of mobile phones. *Journal of urban technology*, 17(1), 3-27.
- Aharony, N., Pan, W., Ip, C., Khayal, I., & Pentland, A. (2011).** Social fMRI: Investigating and shaping social mechanisms in the real world. *Pervasive and Mobile Computing*, 7(6), 643-659.
- Allport, G. W. (1954).** The nature of prejudice
- Baker, P. J., & Harris, S. (2000).** Interaction rates between members of a group of red foxes (*Vulpes vulpes*). *Mammal Review*, 30(3-4), 239-242.
- Berkman, L. F., & Glass, T. (2000).** Social integration, social networks, social support, and health. *Social epidemiology*, 1, 137-173.
- Beck, U., & Sznaider, N. (2006).** Unpacking cosmopolitanism for the social sciences: A research agenda. *The British journal of sociology*, 57(1), 1-23
- Bertrand, M. R., DeNicola, A. J., Beissinger, S. R., & Swihart, R. K. (1996).** Effects of parturition on home ranges and social affiliations of female white-tailed deer. *The Journal of wildlife management*, 899-909.
- Boonstra, T. W., Larsen, M. E., Townsend, S., & Christensen, H. (2017).** Validation of a smartphone app to map social networks of proximity. *PloS one*, 12(12), e0189877.
- Boonstra, T. W., Larsen, M. E., & Christensen, H. (2015).** Mapping dynamic social networks in real life using participants' own smartphones. *Heliyon*, 1(3), e00037.
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J., & Labianca, G. (2009).** Network analysis in the social sciences. *Science*, 323(5916), 892-895.

- Brotherton, P. N., Pemberton, J. M., Komers, P. E., & Malarky, G. (1997).** Genetic and behavioural evidence of monogamy in a mammal, Kirk's dik-dik (; *Madoqua kirkii*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 264(1382), 675-681.
- Cattuto, C., Van den Broeck, W., Barrat, A., Colizza, V., Pinton, J. F., & Vespignani, A. (2010).** Dynamics of person-to-person interactions from distributed RFID sensor networks. *PloS one*, 5(7), e11596.
- Cho, E., Myers, S. A., & Leskovec, J. (2011).** Friendship and mobility: user movement in location-based social networks. In *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (pp. 1082-1090). ACM.
- Crandall, D. J., Backstrom, L., Cosley, D., Suri, S., Huttenlocher, D., & Kleinberg, J. (2010).** Inferring social ties from geographic coincidences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(52), 22436-22441.
- Christakis, N. A., & Fowler, J. H. (2009).** *Connected: The surprising power of our social networks and how they shape our lives*. Little, Brown.
- Christakis, N. A., & Fowler, J. H. (2013).** Social contagion theory: examining dynamic social networks and human behavior. *Statistics in medicine*, 32(4), 556-577.
- Cole, L.C. (1949)** The measurement of interspecific association. *Ecology*, 30, 411–424.
- Doncaster, C.P. (1990)** Non-parametric estimates of interaction from radio-tracking data. *Journal of Theoretical Biology*, 143, 431–443.
- Eagle, N., & Pentland, A. S. (2009).** Eigenbehaviors: Identifying structure in routine. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(7), 1057-1066.
- Eagle, N., Pentland, A.S. and Lazer, D. (2009).** Inferring friendship network structure by using mobile phone data. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(36), pp.15274-15278.
- Eagle, N., Macy, M., & Claxton, R. (2010).** Network diversity and economic development. *Science*, 328(5981), 1029-1031.
- Elmer, T., Chaitanya, K., Purwar, P., & Stadtfeld, C. (2018).** The validity of RFID badges measuring face-to-face interactions. *arXiv preprint arXiv:1811.12189*.
- Freeman, L. C. (1978).** Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239.
- Goldenberg, J., Libai, B., & Muller, E. (2001).** Talk of the network: A complex systems look at the underlying process of word-of-mouth. *Marketing letters*, 12(3), 211-223.
- Golledge, R. G., & Stimson, R. J. (1997).** Spatial cognition, cognitive mapping, and cognitive maps. *Spatial behavior: A geographic perspective*, 224-266.
- Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., & Barabasi, A. L. (2008).** Understanding individual human mobility patterns. *nature*, 453(7196), 779.

- Hall, A., & Wellman, B. (1985).** Social networks and social support.
- Hinde, R. A. (1976).** Interactions, relationships and social structure. *Man*, 1-17.
- Huang, Z., Ling, X., Wang, P., Zhang, F., Mao, Y., Lin, T., & Wang, F. Y. (2018).** Modeling real-time human mobility based on mobile phone and transportation data fusion. *Transportation research part C: emerging technologies*, 96, 251-269.
- Hägerstrand, T. (1970).** What about people in regional science?. In *Papers of the Regional Science Association* (Vol. 24, No. 1, pp. 6-21). Springer-Verlag.
- Jones, J. H., & Handcock, M. S. (2003).** An assessment of preferential attachment as a mechanism for human sexual network formation. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270(1520), 1123-1128.
- Järv, O., Ahas, R., Saluveer, E., Derudder, B., & Witlox, F. (2012).** Mobile phones in a traffic flow: a geographical perspective to evening rush hour traffic analysis using call detail records. *PloS one*, 7(11), e49171.
- Kenward, R. E., Markström, V., & Karlbom, M. (1993).** Post-nestling behaviour in goshawks, *Accipiter gentilis*: I. The causes of dispersal. *Animal Behaviour*, 46(2), 365-370.
- Kernohan, B. J., Gitzen, R. A., & Millspaugh, J. J. (2001).** Analysis of animal space use and movements. In *Radio tracking and animal populations* (pp. 125-166).
- Kostakos, V., O'Neill, E., Penn, A., Roussos, G., & Papadongonas, D. (2010).** Brief encounters: Sensing, modeling and visualizing urban mobility and copresence networks. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 17(1), 2
- Lane, N. D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T., & Campbell, A. T. (2010).** A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications magazine*, 48(9).
- Laube, P., & Purves, R. S. (2011).** How fast is a cow? Cross-scale analysis of movement data. *Transactions in GIS*, 15(3), 401-418.
- Long, J. A., Nelson, T. A., Webb, S. L., & Gee, K. L. (2014).** A critical examination of indices of dynamic interaction for wildlife telemetry studies. *Journal of Animal Ecology*, 83(5), 1216-1233.
- Long, J. A., & Nelson, T. A. (2013).** Measuring dynamic interaction in movement data. *Transactions in GIS*, 17(1), 62-77.
- Macdonald, D. W., Ball, F. G., & Hough, N. G. (1980).** The evaluation of home range size and configuration using radio tracking data. In *A handbook on biotelemetry and radio tracking* (pp. 405-424). Pergamon
- Masso, A., Silm, S., & Ahas, R. (2019).** Generational differences in spatial mobility: A study with mobile phone data. *Population, Space and Place*, 25(2), e2210.

- Miller, H. J. (1991).** Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 287-301.
- Millsaugh, J. J., Gitzen, R. A., Kernohan, B. J., Larson, M. A., & Clay, C. L. (2004).** Comparability of three analytical techniques to assess joint space use. *Wildlife Society Bulletin*, 32(1), 148-157.
- Minta, S.C. (1992)** Tests of spatial and temporal interaction among animals. *Ecological Applications*, 2, 178–188.
- Moreno, J. L. (1934).** Who shall survive?: A new approach to the problem of human interrelations.
- Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., & Smouse, P. E. (2008).** A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(49), 19052-19059.
- Newman, M. E. (2003).** The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2), 167-256.
- Newsome, T. H., Walcott, W. A., & Smith, P. D. (1998).** Urban activity spaces: Illustrations and application of a conceptual model for integrating the time and space dimensions. *Transportation*, 25(4), 357-377.
- Pachucki, M. C., Ozer, E. J., Barrat, A., & Cattuto, C. (2015).** Mental health and social networks in early adolescence: a dynamic study of objectively-measured social interaction behaviors. *Social science & medicine*, 125, 40-50.
- Pentland, A., & Heibeck, T. (2008).** Honest signals. *MIT press*.
- Puura, A., Silm, S., & Ahas, R. (2017).** The Relationship between Social Networks and Spatial Mobility: A Mobile-Phone-Based Study in Estonia. *Journal of Urban Technology*, 1-19.
- Raento, M., Oulasvirta, A., & Eagle, N. (2009).** Smartphones: An emerging tool for social scientists. *Sociological methods & research*, 37(3), 426-454.
- Sapiezynski, P., Stopczynski, A., Wind, D. K., Leskovec, J., & Lehmann, S. (2017).** Inferring person-to-person proximity using WiFi signals. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 1(2), 24.
- Schönfelder, S., & Axhausen, K. W. (2003).** Activity spaces: measures of social exclusion?. *Transport policy*, 10(4), 273-286.
- Scott, J. (2017).** *Social network analysis*. Sage.
- Sekara, V., Stopczynski, A., & Lehmann, S. (2016).** Fundamental structures of dynamic social networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 113(36), 9977-9982.
- Shirabe, T. (2006).** Correlation analysis of discrete motions. In *International Conference on Geographic Information Science* (pp. 370-382). Springer, Berlin, Heidelberg.

Silm, S., & Ahas, R. (2014). Ethnic differences in activity spaces: A study of out-of-home nonemployment activities with mobile phone data. *Annals of the Association of American Geographers*, 104(3), 542-559.

Silm, S., Ahas, R., & Mooses, V. (2017). Are younger age groups less segregated? Measuring ethnic segregation in activity spaces using mobile phone data. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 1-21.

Starnini, M., Lepri, B., Baronchelli, A., Barrat, A., Cattuto, C., & Pastor-Satorras, R. (2017). Robust modeling of human contact networks across different scales and proximity-sensing techniques. In *International Conference on Social Informatics* (pp. 536-551). Springer, Cham.

Stopczynski, A., Sekara, V., Sapiezynski, P., Cuttone, A., Madsen, M. M., Larsen, J. E., & Lehmann, S. (2014). Measuring large-scale social networks with high resolution. *PloS one*, 9(4), e95978.

Toomet, O., Silm, S., Saluveer, E., Ahas, R., & Tammaru, T. (2015). Where do ethno-linguistic groups meet? How copresence during free-time is related to copresence at home and at work. *PloS one*, 10(5), e0126093.

Valentine, G. (2008). Living with difference: reflections on geographies of encounter. *Progress in human geography*, 32(3), 323-337.

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications* (Vol. 8). Cambridge university press.

Young, I. M. (2011). *Justice and the Politics of Difference*. Princeton University Press.

Veebiviited

Pakett 'wildlifeDI' R-le (2019), „Calculate Indices of Dynamic Interaction for Wildlife Tracking“, DataVersion 0.3.0., kättesaadav: <https://github.com/jedalong/wildlifeDI> (viimati vaadatud 26.05.2019)

Statista (2019), Number of smartphone users worldwide from 2014 to 2020 (in billions), kättesaadav: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/> (viimati vaadatud 20.05.2019)

Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet (2019), Elektroonilise side ülevaated, kättesaadav: <https://www.ttja.ee/et/valdkonnad-teenused/elektroonilise-side-ulevaated> (viimati vaadatud 19.05.2019)

Telia (2019), Telia 4G interneti leviala, kättesaadav: <https://www.telia.ee/era/mobiil/leviala> (viimati vaadatud 19.05.2019)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marie Kristine Külvik

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Kes kellega käib ehk sotsiaalsete suhete dünaamika analüüs liikumisandmete põhjal“, mille juhendaja on Anto Aasa, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Marie Kristine Külvik

27.05.2019